



SKRIPSI – ME141501

**ANALISA PENGARUH BEBAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP PERFORMA TRANSFORMATOR 3 PHASA FEEDBACK 61-103 PADA BERBAGAI HUBUNGAN BELITAN SKALA LABORATORIUM LISTRIK KAPAL DAN OTOMATISASI**

Muhammad Hanif  
NRP. 4213 100 013

Dosen Pembimbing  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS – ME141501

**ANALYSIS OF UNBALANCED LOAD EFFECT OF THREE PHASE  
TRANSFORMER FEEDBACK 61-103 PERFORMANCE ON THE VARIOUS  
CONNECTION WINDINGS IN MARINE ELECTRICAL AND AUTOMATION  
SYSTEM LABORATORY SCALE**

Muhammad Hanif  
NRP. 4213 100 013

Supervisor  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH BEBAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP PERFORMA TRANSFORMATOR 3 PHASA FEEDBACK 61-103 PADA BERBAGAI HUBUNGAN BELITAN SKALA LABORATORIUM LISTRIK KAPAL DAN OTOMATISASI

#### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Muhammad Hanif**

NRP. 4213 100 013

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
NIP. 196003191987011001



(.....)

SURABAYA  
Juli 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH BEBAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP PERFORMA TRANSFORMATOR 3 PHASA FEEDBACK 61-103 PADA BERBAGAI HUBUNGAN BELITAN SKALA LABORATORIUM LISTRIK KAPAL DAN OTOMATISASI

#### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System* (MEAS)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Muhammad Hanif**  
NRP. 4213 100 013

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.  
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



# **ANALISA PENGARUH BEBAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP PERFORMA TRANSFORMATOR 3 PHASA FEEDBACK 61-103 PADA BERBAGAI HUBUNGAN BELITAN SKALA LABORATORIUM LISTRIK KAPAL DAN OTOMATISASI**

**Nama Mahasiswa : Muhammad Hanif**  
**NRP. : 4213 100 013**  
**Departemen : Teknik Sistem Perkapalan**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.**

## **ABSTRAK**

Transformator merupakan suatu alat listrik yang digunakan untuk memindahkan energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain melalui medan magnet. Pada sistem kelistrikan di kapal, kondisi beban tidak seimbang pada transformator 3 phasa kerap kali ditemukan. Hal ini disebabkan karena waktu pengoperasian beban yang tidak serempak. Apabila ketidakseimbangan beban terjadi pada transformator secara terus-menerus maka hal tersebut dapat menyebabkan penurunan performa transformator. Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian transformator 3 phasa Feedback 61-103 pada berbagai hubungan belitan yang dilakukan di Laboratorium Listrik Kapal dan Otomatisasi. Pengujian dilakukan dengan cara mengambil data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban yang digunakan untuk mengetahui pengaruh beban tidak seimbang terhadap performa pada masing-masing belitan transformator. Dari hasil pengujian, efisiensi tertinggi sebesar 93,8 % pada hubungan belitan Y-Zigzag Y dan beban terhubung  $\Delta$ . Regulasi tegangan terendah sebesar 0,9 % pada hubungan belitan Y- $\Delta$  dan beban terhubung Y dan beban terhubung  $\Delta$ . Ketidakseimbangan beban terendah sebesar 5,0 % pada hubungan belitan  $\Delta$ - $\Delta$  dan beban terhubung Y.

**Kata kunci : Transformator 3 Phasa, Beban Tidak Seimbang, Belitan**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALYSIS OF UNBALANCED LOAD EFFECT OF THREE PHASE  
TRANSFORMER FEEDBACK 61-103 PERFORMANCE ON THE VARIOUS  
CONNECTION WINDINGS IN MARINE ELECTRICAL AND AUTOMATION  
SYSTEM LABORATORY SCALE**

**Name** : Muhammad Hanif  
**NRP.** : 4213 100 013  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor** : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

**Abstract**

Transformer is electrical equipment which transfers electrical power from one circuit to another circuit through magnetic fields. In the ship electrical system, unbalanced load on the three-phase of transformer is often found. It is due to the load operational time which does not occur simultaneously. If the unbalanced load occurs *continuously on the transformer, it will decrease the transformer's performance. This* research aims to test the three-phase transformer feedback 61-103 on the various connection winding in marine electrical and automation laboratory system. It was conducted by collecting the data to get the results of efficiency, voltage regulation, and unbalanced load calculation to find out the effect of unbalanced load to the performance of each transformer winding. From the results of the test, the highest efficiency was 93,8% in the Y-Zigzag Y connection winding and  $\Delta$ -connected load. The lowest voltage regulation was 0,9% in the Y- $\Delta$  connection winding and Y-connected load and  $\Delta$ -connected load. *The lowest unbalanced load was 5,0% in the  $\Delta$ - $\Delta$  connection winding and Y-connected load.*

**Keywords:** Three Phase Transformer, Unbalanced Load, Winding

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah – Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Performa Transformator 3 Phasa Feedback 61-103 pada Berbagai Hubungan Belitan Skala Laboratorium Listrik Kapal dan Otomatisasi” dengan baik dalam rangka memenuhi syarat pada Mata Kuliah Skripsi (ME141501) Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu dan ayah, beserta kakak - kakak tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral dan materiel kepada penulis.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T. dan Bapak Semin, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala dan Sekretaris Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
3. Bapak Ir. H. Alam Baheramsyah, M.Sc. selaku dosen wali yang terus memotivasi dan memberikan masukan kepada penulis selama melaksanakan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
4. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan banyak masukan selama proses penyusunan skripsi.
5. Segenap civitas akademika yang telah menyampaikan ilmu dan berbagai pengalaman selama penulis melaksanakan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
6. Keluarga Barakuda '13 yang selalu menemani dan memberikan semangat dalam menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
7. Seluruh teknisi, member dan grader Laboratorium Marine Electrical and Automation System (MEAS) yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.

Penulis berharap kritik dan saran yang bersifat membangun demi penelitian terkait di waktu mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca.

Surabaya, Juli 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK .....	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	1
1.3. Batasan Masalah.....	1
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
BAB II .....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Transformator .....	3
2.2. Konstruksi Transformator .....	3
2.3. Prinsip Kerja Transformator.....	4
2.4. Teori Dasar Transformator Ideal .....	5
2.5. Keadaan Transformator Tanpa Beban .....	5
2.5.1. Percobaan Beban Nol .....	7
2.5.2. Karakteristik Transformator Tanpa Beban .....	8
2.6. Keadaan Transformator Terhubung Singkat .....	11
2.6.1. Percobaan Hubung Singkat .....	11
2.6.2. Karakteristik Transformator Terhubung Singkat .....	13
2.7. Keadaan Transformator Berbeban.....	15
2.7.1. Umum.....	15
2.7.2. Efek Arus Sekunder.....	16
2.7.3. Rangkaian Ekuivalen dan Karakteristik .....	16
2.8. Transformator Tiga Fasa .....	17
2.9. Hubungan Transformator Tiga fasa.....	18
2.9.1. Hubungan Bintang (Y) .....	18
2.9.2. Hubungan Segitiga/Delta ( $\Delta$ ) .....	19
2.10. Jenis - Jenis Hubungan Transformator Tiga Fasa .....	20
2.10.1. Hubungan Wye-Wye (Y-Y) .....	20
2.10.2. Hubungan Wye-Delta (Y- $\Delta$ ).....	21
2.10.3. Hubungan Delta-Wye ( $\Delta$ -Y).....	21
2.10.4. Hubungan Delta-Delta ( $\Delta$ - $\Delta$ ).....	22
2.11. Bilangan Jam/Grup Vektor.....	22
2.12. Ketidakseimbangan Beban .....	24
2.13. Arus Netral .....	24
2.14. Efisiensi Transformator .....	25
2.15. Regulasi Tegangan Transformator .....	27
BAB III.....	29

METODOLOGI .....	29
3.1.    Tempat Pengujian .....	29
3.2.    Studi Literatur .....	29
3.3.    Pengumpulan Data .....	29
3.3.2.    Variabel yang diamati .....	33
3.3.3.    Tahapan Pengujian .....	34
3.3.4.    Pengambilan Data .....	45
3.4.    Perhitungan Data dan Analisa Data .....	45
3.5.    Final Analisis .....	45
3.6.    Kesimpulan dan Saran .....	45
BAB IV .....	47
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	47
4.1.    Data Hasil Percobaan .....	47
4.2.    Perhitungan Data dan Analisa Data .....	47
4.2.1.    Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y .....	47
4.2.2.    Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ .....	53
4.2.3.    Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y .....	59
4.2.4.    Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ .....	66
4.3.    Analisa Grafik .....	74
4.3.1.    Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi .....	74
4.3.2.    Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan .....	77
4.3.3.    Grafik Hubungan Beban Terhadap Ketidakseimbangan Beban .....	81
4.4.    Final Analisis .....	82
4.5.    Aplikasi Penggunaan Transformator 3 Fasa di Kapal .....	82
BAB V .....	85
KESIMPULAN .....	85
5.1.    Kesimpulan .....	85
5.2.    Saran .....	85
DAFTAR PUSTAKA .....	87
LAMPIRAN .....	89



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe Inti .....	3
Gambar 2.2 Tipe Cangkang.....	4
Gambar 2.3 Skematik Diagram Transformator 1 Phasa.....	4
Gambar 2.4 Transformator Ideal .....	5
Gambar 2.5 Skematik Diagram dan Vektor Diagram Transformator Tanpa Beban .....	6
Gambar 2.6 Rangkaian Percobaan Beban Nol .....	7
Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Pengukuran Transformator Tanpa Beban.....	8
Gambar 2.8 Kurva Histerisis dan Diagram Fasor Transformator Tanpa Beban .....	8
Gambar 2.9 Mengurangi Arus Pesar dengan Memakai Inti yang Berlapis .....	10
Gambar 2.10 Transformator Terhubung Singkat .....	11
Gambar 2.11 Rangkaian Ekuivalen Pengukuran Transformator Terhubung Singkat .....	12
Gambar 2.12 Fluks Transformator .....	12
Gambar 2.13 Rangkaian Ekuivalen Transformator Terhubung Singkat .....	13
Gambar 2.14 Rangkaian Ekuivalen Transformator Terhubung Singkat dengan Primer sebagai Referensi.....	13
Gambar 2.15 Rangkaian Ekuivalen Transformator Terhubung Singkat dengan Sekunder sebagai Referensi.....	14
Gambar 2.16 Skematik Diagram Transformator Berbeban.....	15
Gambar 2.17 Rangkaian Ekuivalen Transformator Berbeban dengan sisi Primer sebagai Referensi.....	16
Gambar 2.18 Diagram Vektor Transformator Berbeban Induktif.....	17
Gambar 2.19 Diagram Vektor Transformator Berbeban Resistif.....	17
Gambar 2.20 Diagram Vektor Transformator Berbeban Kapasitif .....	17
Gambar 2.21 Konstruksi Transformator 3 Fasa Inti Tunggal .....	18
Gambar 2.22 Transformator Tiga Fasa Hubungan Bintang .....	18
Gambar 2.23 Transformator Tiga Fasa Hubungan Segitiga/Delta .....	19
Gambar 2.24 Transformator Tiga Fasa Hubungan Y-Y.....	20
Gambar 2.25 Transformator Tiga Fasa Hubungan Y- $\Delta$ .....	21
Gambar 2.26 Transformator Tiga Fasa Hubungan $\Delta$ -Y .....	21
Gambar 2.27 Transformator Tiga Fasa Hubungan $\Delta$ - $\Delta$ .....	22
Gambar 2.28 Kelompok Hubungan Dy5 .....	23
Gambar 2.29 Diagram Fasor Ketidakseimbangan Arus pada Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa.....	25
Gambar 2.30 Variasi Efisiensi Terhadap Faktor Daya.....	26
 Gambar 3.1 Three Phase Transformator 61-103 .....	 30
Gambar 3.2 Three Phase Supply Control 61-100.....	30
Gambar 3.3 AC/DC Electrodynamic Wattmeter 68-201.....	30
Gambar 3.4 Voltmeter .....	31
Gambar 3.5 Multimeter .....	31
Gambar 3.6 Ammeter .....	32
Gambar 3.7 Clamp meter .....	32
Gambar 3.8 Switch Resistance Load 67-140 .....	32
Gambar 3.9 Single & Three Phase Measurement 68-100 .....	33

Gambar 3.10 Kabel.....	33
Gambar 3.11 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$ .....	34
Gambar 3.12 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y-Y .....	34
Gambar 3.13 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan $\Delta$ -Y .....	34
Gambar 3.14 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	34
Gambar 3.15 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	35
Gambar 3.16 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	35
Gambar 3.17 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$ .....	35
Gambar 3.18 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y .....	35
Gambar 3.19 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Y .....	36
Gambar 3.20 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	36
Gambar 3.21 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	36
Gambar 3.22 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y .....	36
Gambar 3.23 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$ .....	37
Gambar 3.24 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Y .....	37
Gambar 3. 25 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Y .....	37
Gambar 3.26 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	37
Gambar 3.27 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	38
Gambar 3.28 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y .....	38
Gambar 3.29 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$ .....	38
Gambar 3.30 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y .....	38
Gambar 3.31 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Y .....	39
Gambar 3.32 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	39
Gambar 3.33 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	39
Gambar 3.34 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y .....	39
Gambar 3.35 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$ .....	40

Gambar 3.36 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Y .....	40
Gambar 3.37 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Y.....	40
Gambar 3.38 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	40
Gambar 3.39 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	41
Gambar 3.40 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y.....	41
 Gambar 4.1 Beban Terhubung Star.....	48
Gambar 4.2 Beban Terhubung Delta.....	53
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Pada Beban Seimbang Terhubung Y .....	74
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Pada Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ .....	74
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung Y .....	75
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ .....	76
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan Pada Beban Seimbang Terhubung Y.....	77
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan Pada Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ .....	78
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung Y.....	79
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ .....	80
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Beban Terhadap Ketidakseimbangan Beban Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung Y .....	81
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan Beban Terhadap Ketidakseimbangan Beban Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ .....	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ .....	49
Tabel 4. 2 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y .....	49
Tabel 4. 3 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Y .....	50
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	51
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	52
Tabel 4. 6 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y .....	53
Tabel 4. 7 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$ .....	54
Tabel 4. 8 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Y .....	55
Tabel 4. 9 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Y .....	56
Tabel 4. 10 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	57
Tabel 4. 11 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	57
Tabel 4. 12 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y .....	58
Tabel 4. 13 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$ .....	60
Tabel 4. 14 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y .....	61
Tabel 4. 15 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Y .....	62
Tabel 4. 16 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	63
Tabel 4. 17 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	65
Tabel 4. 18 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y .....	66
Tabel 4. 19 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$ .....	67
Tabel 4. 20 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Y .....	68
Tabel 4. 21 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Y .....	69
Tabel 4. 22 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y- $\Delta$ .....	71

Tabel 4. 23 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Zigzag Y .....	72
Tabel 4. 24 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y .....	73

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kapal merupakan transportasi laut yang digunakan untuk menunjang pengiriman barang dari satu tempat ke tempat lainnya. Saat ini kebutuhan jasa pengiriman barang mengalami peningkatan yang berdampak pada penggunaan kapal dengan ukuran yang semakin besar. Dengan semakin besarnya ukuran kapal mengakibatkan kebutuhan listrik di kapal mengalami peningkatan, karena penggunaan peralatan listrik di kapal semakin bertambah besar juga. Dengan peningkatan jumlah pemakaian energi listrik tersebut diharapkan adanya kontinuitas dan kualitas listrik yang lebih baik dalam penyaluran tenaga listrik dari generator sampai ke peralatan – peralatan listrik di kapal tanpa mengalami gangguan. Kapal – kapal dengan beban listrik yang sangat besar memiliki generator yang beroperasi pada tegangan tinggi sekitar 3,3 kV. Tegangan yang tinggi secara ekonomis memang diperlukan bagi sistem berdaya tinggi untuk memperkecil kekuatan arusnya, sehingga memperkecil juga ukuran konduktor serta peralatan yang diperlukan. Di kapal terdapat juga peralatan – peralatan listrik yang memiliki tegangan 220 V seperti lampu, peralatan navigasi dan lainnya sehingga perlu dipasang transformator untuk menurunkan tegangan yang dihasilkan generator.

Transformator merupakan suatu alat listrik yang digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan pada sistem penyaluran tenaga listrik. Transformator banyak digunakan pada bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator pada bidang tenaga listrik tersebut, dapat terjadi pembagian beban - beban yang tidak merata atau ketidakseimbangan beban akibat ketidakserempakan waktu pengoperasian beban-beban tersebut yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antar fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) dapat menyebabkan gangguan -gangguan yang mengakibatkan penurunan performa dari sistem.

Pada aplikasinya, transformator menggunakan berbagai macam hubungan pada belitan yang bertujuan untuk meningkatkan performa dari transformator dan meminimalisir rugi-rugi yang mungkin terjadi.

Dalam tugas akhir ini, penulis berusaha menganalisa pengaruh beban tidak seimbang terhadap performa transformator 3 fasa pada berbagai hubungan belitan.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Dari uraian di atas maka rumusan masalah dari tugas akhir ini yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh beban tidak seimbang terhadap performa transformator dengan berbagai jenis hubungan belitan ?
2. Berapa batas maksimum beban tidak seimbang pada berbagai jenis hubungan belitan?

### **1.3. Batasan Masalah**

Batasan permasalahan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Pengukuran dan perhitungan arus, tegangan, dan daya transformator pada kondisi beban tidak seimbang.

2. Transformator yang digunakan yakni Transformator 3 Phasa Feedback 61-103 di Laboratorium Listrik Kapal dan Otomatisasi Teknik Sistem Perkapalan ITS.

#### **1.4. Tujuan**

Adapun penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh beban tidak seimbang terhadap kinerja dan performa transformator dengan berbagai jenis hubungan belitan.
2. Mengetahui batas maksimum beban tidak seimbang pada berbagai jenis hubungan belitan.

#### **1.5. Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Agar pembaca mengetahui pengaruh beban tidak seimbang terhadap performa transformator.
2. Mengetahui jenis hubungan yang terbaik dalam mengurangi efek yang tidak diharapkan akibat dari pembebanan yang tidak seimbang pada transformator.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi electromagnet. (Zuhal, 1982)

Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Pada penggunaan sistem tenaga listrik, transformator digunakan untuk memindahkan energi dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik berikutnya tanpa mengubah frekuensi. Biasanya dapat menaikkan atau menurunkan tegangan maupun arus, sehingga memungkinkan transmisi ekstra tinggi.

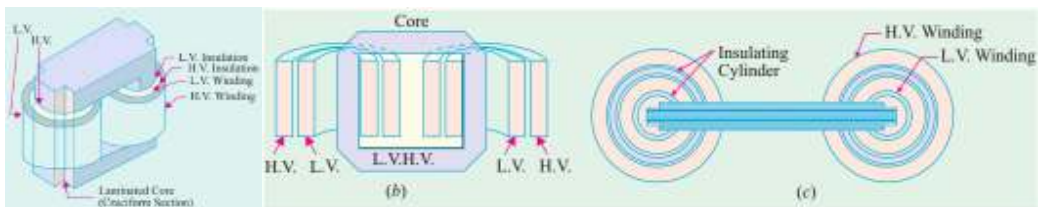
Di bidang tenaga listrik penggunaan transformator dibagi menjadi 3 yaitu, trafo penaik tegangan (step up) atau disebut trafo daya yang mana digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi, trafo penurun tegangan (step down) atau trafo distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi, trafo pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus yang digunakan untuk menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke alat ukur.

### 2.2. Konstruksi Transformator

Unsur – unsur sederhana transformator terdiri dari dua yaitu kumparan primer dan sekunder yang saling menginduksi dan dibelitkan pada inti ferromagnetik. Konstruksi transformator daya biasanya terdiri dari inti yang dilaminasi, tangki, sistem pendingin, terminal dan bushing. Berdasarkan letak kumparan terhadap inti transformator, terdapat dua macam konstruksi yakni tipe inti (core type) dan tipe cangkang (shell type). Kedua tipe ini menggunakan inti yang berlaminasi yang terisolasi satu sama lain dengan tujuan untuk mengurangi rugi - rugi dan arus eddy umumnya transformator dapat dibedakan dua jenis menurut konstruksinya, yaitu:

#### 1. Tipe Inti (Core Type)

Pada transformator tipe inti, kumparan atau lilitan mengelilingi inti dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf L atau huruf U. Konstruksi (peletakan) kumparan pada praktiknya diatur saling berhimpitan (interleaving) antara kumparan primer dan kumparan sekunder seperti gambar 2.1 di bawah ini, dengan maksud mengurangi kerugian magnetis (magnetic leakage) berupa reaktansi induktif.



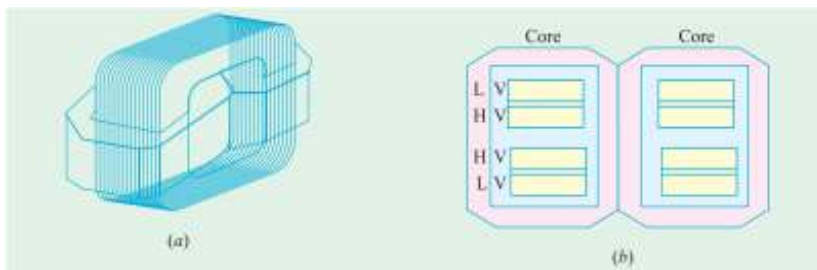
Gambar 2.1 Tipe Inti

(Sumber: A Text-book of Electrical Technology by Theraja BL.,1978)

Kumparan tegangan tinggi diletakkan di sebelah luar karena pertimbangan isolasi tegangan tinggi lebih kompleks mengatasinya dan lebih sering terkena gangguan dibandingkan dengan tegangan rendah, sehingga jika terjadi kerusakan lebih mudah membuka kumparan tersebut.

## 2. Tipe Cangkang (Shell Type)

Pada transformator tipe cangkang, kumparan atau belitan transformator dikelilingi oleh inti dan konstruksi intinya berbentuk huruf E, huruf I, dan huruf F.



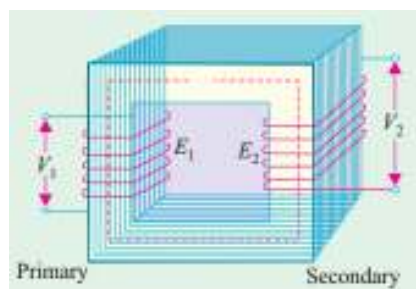
Gambar 2.2 Tipe Cangkang

(Sumber: A Text-book of Electrical Technology by Theraja BL.,1978)

### 2.3. Prinsip Kerja Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. (Kadir, 1998)

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti (core) yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka di kumparan primer terjadi induksi (self induction) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer (mutual induction) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, serta arus sekunder jika rangkaian sekunder dihubungkan dengan beban, sehingga energi listrik dapat di transfer keseluruhan (secara magnetis). (Wijaya, 2001)

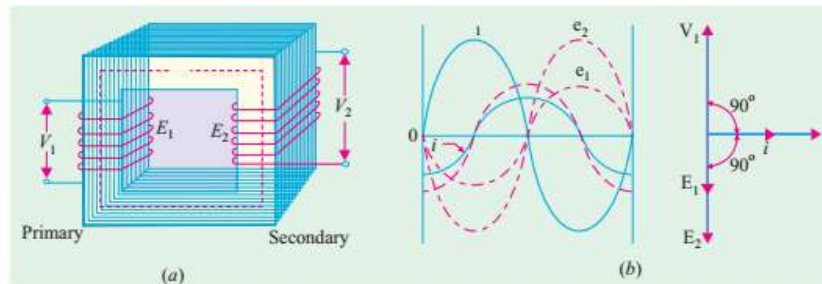


Gambar 2.3 Skematik Diagram Transformator 1 Fasa

(Sumber: A Text-book of Electrical Technology by Theraja BL.,1978)

## 2.4. Teori Dasar Transformator Ideal

Sebuah transformator ideal merupakan kondisi transformator yang tidak memiliki rugi-rugi seperti kumparan tidak memiliki hambatan ohmic, tidak ada kebocoran magnet, tidak memiliki rugi  $I^2R$  dan rugi inti. Dengan kata lain, transformator ideal terdiri dari dua kumparan murni induktif yang melilit pada inti bebas losses. Bagaimanapun, perlu dicatat bahwa tidak mungkin mewujudkan transformator seperti itu. (Theraja, 1978)



Gambar 2.4 Transformator Ideal

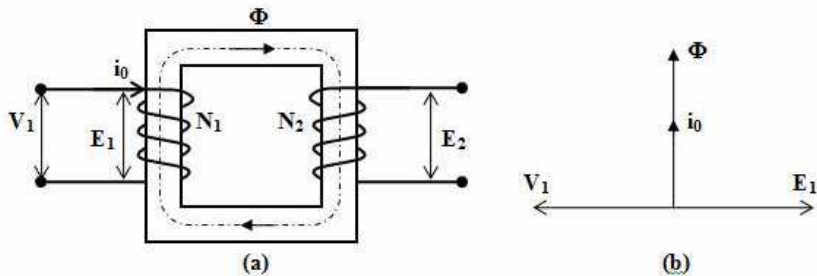
(Sumber: A Text-book of Electrical Technology by Theraja BL., 1978)

Pertimbangan transformator ideal pada gambar 2.4 (a) yang sisi sekunder terbuka dan sisi primer terhubung dengan tegangan bolak-balik sinusoidal  $V_1$ . Perbedaan potensial menyebabkan arus bolak-balik mengalir di sisi primer. Karena kumparan primer adalah induktif murni dan tidak ada output (sisi sekunder terbuka), sisi primer hanya menyebabkan arus magnet  $I_\mu$ . Fungsi arus ini yakni menjadikan magnet pada inti, kecil magnitudnya dan tertinggal  $90^\circ$  oleh  $V_1$ .  $I_\mu$  memproduksi fluks  $\Phi$  bolak-balik yang mana pada setiap saat sebanding dengan arus (dengan asumsi permeabilitas sirkuit magnetik konstan) dan karena sefase dengan itu. Perubahan fluks ini terkait dengan kumparan primer dan kumparan sekunder. Oleh karena itu, menghasilkan induksi e.m.f di sisi primer. E.m.f self induction ( $E_1$ ) disetiap instan sama dengan dan berlawanan dengan  $V_1$ . Hal ini juga dikenal sebagai e.m.f balik pada sisi primer.

Demikian pula, terdapat produksi induksi e.m.f  $E_2$  di sisi sekunder yang disebut sebagai e.m.f mutual induction. E.m.f ini berbeda fase dengan  $V_1$  dan besarnya sebanding dengan laju perubahan fluks dan jumlah lilitan sekunder. Nilai sesaat dari tegangan yang diberikan, induksi e.m.f, fluks dan arus magnet ditunjukkan oleh gelombang sinusoidal pada gambar 2.4 (b). Gambar 2.4 (c) menunjukkan gambaran vektor dari nilai-nilai efektif dari jumlah di atas.

## 2.5. Keadaan Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan sesaat  $V_1$  yang sinusoidal dan kumparan sekundernya merupakan rangkaian yang tidak dibebani (no load), maka akan mengalirlah arus primer  $I_0$  yang juga sinusoidal dan dengan menganggap kumparan  $N_1$  reaktif murni,  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$  (induktif). (Wijaya, 2001)



Gambar 2.5 Skematik Diagram dan Vektor Diagram Transformator Tanpa Beban  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\Phi$ ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal dalam rangkaian.

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \cdot \sin \omega t \dots\dots\dots (2. 1)$$

Fluks ini menginduksikan tegangan sesaat dalam kumparan primer yang sama dengan (berdasarkan hukum Faraday):

$$e_1 = - \frac{d\lambda_1}{dt} = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (2. 2)$$

Dimana:  $\lambda_1$  = gandingan fluks dalam kumparan primer

$\Phi$  = fluks (dianggap semua terkurung di dalam inti)

$N_1$  = jumlah lilitan dalam kumparan primer

Dengan menstubsikan persamaan 2.1 dan 2.2:

$$e_1 = - \frac{d(\Phi_{\text{maks}} \cdot \sin \omega t)}{dt} = -N_1 \omega \Phi_{\text{maks}} \cos \omega t \dots\dots\dots (2. 3)$$

(tertinggal  $90^\circ$  dari  $\Phi$ )

Pada kondisi maksimum  $e_{1\text{maks}} = N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}}$ , dimana  $\omega = 2\pi f$ , sehingga harga efektifnya :

$$E_1 = \frac{e_{1\text{maks}}}{\sqrt{2}} = \frac{N_1 \cdot 2\pi f \cdot \Phi_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_{\text{maks}} \dots\dots\dots (2. 4)$$

Jika tegangannya bukan merupakan gelombang sinusoidal (sinus wave) maka persamaan 2.4 menjadi :

$$E_1 = 4 \cdot (\text{faktor bentuk}) \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_{\text{maks}} \dots\dots\dots (2. 5)$$

Dimana faktor bentuk (form factor) gelombang sinusoidal :

$$= \frac{\text{nilai efektif (rms value)}}{\text{nilai rata-rata (average value)}} = 1,11$$

Umumnya penurunan tegangan resistif (resistif voltage drop) dapat diabaikan, sehingga dapat ditulis persamaan berikut :

$$\Phi_{\text{maks}} = \frac{V_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} \dots\dots\dots (2. 6)$$

Pada rangkaian sekunder, fluks bersama tadi menimbulkan:

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \omega \Phi_{\text{maks}} \cos \omega t \dots\dots\dots (2. 7)$$

Harga efektifnya,

$$E_2 = \frac{e_{2.maks}}{\sqrt{2}} = \frac{N_2 \cdot 2\pi f \cdot \Phi_{maks}}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \Phi_{maks} \dots\dots\dots (2. 8)$$

Sehingga didapat :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \dots\dots\dots (2. 9)$$

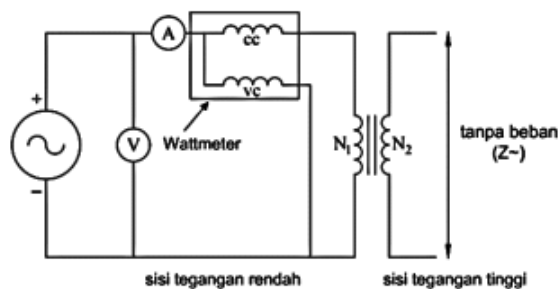
Dimana k = perbandingan transformasi.

Apabila :  $k < 1$ , maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (step up transformator)

$k > 1$ , maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (step down transformator)

### 2.5.1. Percobaan Beban Nol

Rangkaian percobaan beban nol atau tanpa beban dari suatu transformator ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.6 Rangkaian Percobaan Beban Nol

(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Umumnya untuk percobaan beban nol semua instrumen ukur diletakkan di sisi tegangan rendah (walaupun instrumen ukur terkadang diletakkan disisi tegangan tinggi), dengan maksud agar besaran yang diukur cukup besar untuk dibaca dengan mudah.

Dalam keadaan tanpa beban, bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_{bn}$ , maka akan mengalir arus penguat  $I_o$ . Dengan pengukuran daya yang masuk ( $P_{bn}$ ), arus penguat  $I_o$  dan tegangan  $V_{bn}$  akan diperoleh harga :

$$R_c = \frac{(V_{bn})^2}{P_{bn}} \dots\dots\dots (2. 10)$$

$$Z_o = \frac{V_1}{I_o} = \frac{jX_m \cdot R_c}{R_c + jX_m} \dots\dots\dots (2. 11)$$

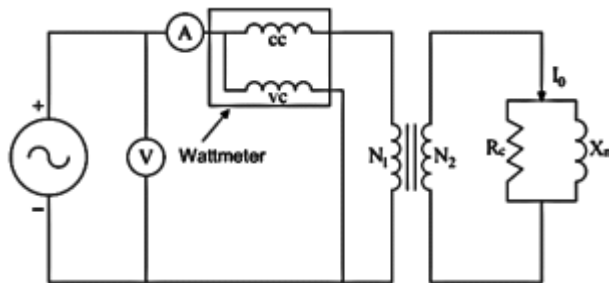
Dimana :

$Z_o$  = impedansi beban nol

$R_c$  = tahanan beban nol

$X_m$  = reaktansi beban nol

Dengan demikian dari hasil pengukuran beban nol dapat diketahui harga  $R_c$  dan  $X_m$ , diagram ekivalen dari percobaan beban nol tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.7 Rangkaian Ekivalen Pengukuran Transformator Tanpa Beban  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Parameter yang didapatkan dari percobaan beban nol ini mewakili keberadaan inti (core) dari transformator tersebut.

### 2.5.2. Karakteristik Transformator Tanpa Beban

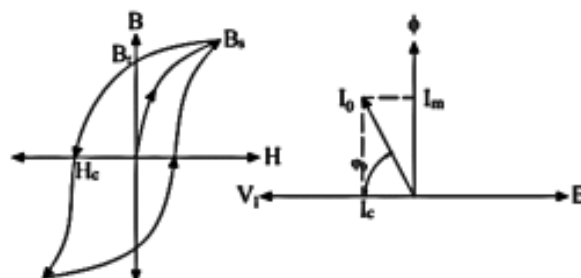
Dari hasil percobaan beban nol, dapat diketahui bahwa arus penguat  $I_o$  bukanlah merupakan arus induktif murni, melainkan terdiri atas 2 komponen :

Komponen arus pemagnetan  $I_m$ , merupakan arus yang dibutuhkan untuk menghasilkan fluks pada inti transformator. Komponen rugi inti/besi (core-loss component) dari arus penguat  $I_c$  yang menyatakan arus yang terpakai akibat adanya rugi histerisis dan rugi arus olak/arus pusar (eddy current), dimana  $I_c$  sefasa dengan  $V_1$ , sehingga didapat daya yang hilang (rugi inti) sebesar : (Wijaya, 2001)

$$P_i = I_c \times V_1 \dots\dots\dots (2. 12)$$

$$P_i = E_1 \cdot I_o \cdot \cos \phi_o \dots\dots\dots (2. 13)$$

Dimana :  $\cos \phi_o$  adalah faktor daya antara  $I_c$  dan  $I_o$ .



Gambar 2.8 Kurva Histerisis dan Diagram Fasor Transformator Tanpa Beban  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Ketika sebatang logam diletakkan pada medan magnet yang cukup besar, sehingga membuatnya menjadi magnet (saturation magnetization), maka besarnya kerapatan fluks penguatan (Br) meningkat (lihat pada garis panah naik) sampai pada nilai jenuhnya/

saturasi ( $B_s$ ). Kemudian jika medan magnet tersebut dikurangi dari nilai saturasinya, kerapatan fluks turun (arah panah turun), tetapi tidak cukup cepat untuk kembali melewati jalur (jejak) seperti ketika naik menjadi saturasi, sehingga terbentuk area antara naik dan turun.

Besarnya rugi histerisis ini dinyatakan sebagai :

$$P_h = f \cdot \oint B \cdot dH \quad [W/m^3] \dots\dots\dots (2. 14)$$

Koersifitas : intensitas magnetik kebalikan yang diperlukan untuk rapat fluksi sampai nol, sesudah bahan magnetasi hingga jenuh. Dari diagram fasor pada gambar 2.8, dapat ditentukan:

$$I_c = I_o \cdot \cos \phi_o \dots\dots\dots (2. 15)$$

$$I_m = I_o \cdot \sin \phi_o \dots\dots\dots (2. 16)$$

$$I_o = \sqrt{I_c^2 + I_m^2} \dots\dots\dots (2. 17)$$

Massa-massa logam yang bergerak dalam medan magnet atau yang terletak dalam medan magnet yang berubah-ubah, mengakibatkan adanya sirkulasi arus induksi (yang dikenal sebagai arus olak atau eddy current) ke seluruh volume logam itu, dimana garis aliran arus tersebut tegak lurus terhadap fluksi yang ada). Karena inti besi juga merupakan suatu penghantar, maka setiap irisan besi dianggap sebagai suatu lintasan rangkaian tertutup, yang satu di dalam yang lain. Dengan kata lain, arus olak tersebut disebabkan konduksi elektron-elektron di dalam inti besi yang bereaksi untuk mengurangi perubahan yang terjadi berdasarkan hukum Len. Arus olak akan menimbulkan rugi-rugi berupa panas, yang besarnya:

$$P_e = J^2 / \sigma = (\pi \cdot t \cdot f \cdot B_{maks})^2 \cdot \sigma / 6 \dots\dots\dots (2. 18)$$

$P_e$  = rugi arus olak/arus pusar (Watt/m<sup>3</sup>)

$\sigma$  = konduktivitas penghantar (S/m)

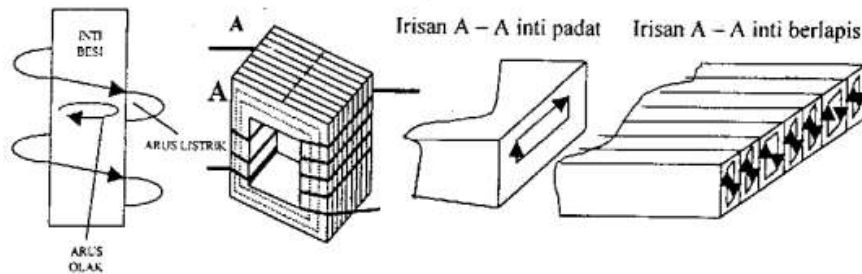
$J$  = kerapatan arus olak/arus pusar (Ampere/m<sup>2</sup>)

$t$  = ketebalan laminasi (m)

$B_{maks}$  = kerapatan fluks maksimum (T)

Pada beban isolator tidak terdapat rugi arus olak, karena  $\sigma = 0$  (isolator), maka  $P_e = 0$ .

Arus olak tersebut dibuat hampir tidak ada lagi dengan memakai inti yang berlapis (lembaran-lembaran besi tipis). Daya hambat listrik antara permukaan lapisan (berkat adanya lapisan oksida atau karena laminasi/diberi vernis) dengan efektif membuat arus olak itu “terkurung” dalam tiap lapisan. Tempuhnya menjadi bertambah panjang, sehingga daya hambatnya bertambah. Oleh sebab itu, walaupun ggl induksi tidak berubah, arus dan efek panasnya menjadi kecil. Pada transformator kecil, dimana rugi arus olak tersebut harus dibuat seminimum mungkin, intinya sering dibuat dari serbuk besi yang dipadatkan dengan tekanan tinggi.



Gambar 2.9 Mengurangi Arus Pesar dengan Memakai Inti yang Berlapis  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Rugi histerisis dapat menjadi kecil dengan menggunakan besi yang simpal histerisisnya sempit.

Rumus praktis yang digunakan untuk menunjukkan efek dari beberapa macam faktor kerugian secara kualitatif :

$$P_i = P_h + P_e \dots \dots \dots (2. 19)$$

Dimana :  $P_i$  = rugi besi/inti (Watt)

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_{maks}^x \text{ (W/lb)} \dots \dots \dots (2. 20)$$

Disebut sebagai rugi histerisis

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot B_{maks}^2 \text{ (W/lb)} \dots \dots \dots (2. 21)$$

Disebut sebagai rugi arus olak/pesar.

Dimana :  $t$  = ketebalan laminasi (mm)

$K_h$  = konstanta histerisis

$K_e$  = konstanta arus olak

$x$  = konstanta histerisis tambahan

$K_h$ ,  $K_e$ , dan  $x$  adalah faktor yang bergantung dari mutu logam yang digunakan sebagai inti transformator. Pada turunan rumus rugi histerisis yang asli oleh Dr. Steinmetz,  $x$  adalah sama dengan 1,6. Untuk logam-logam modern,  $x$  dapat menjadi 3,0.

Rugi histerisis dan rugi arus olak selain dipengaruhi oleh bahan (material) yang digunakan, juga dipengaruhi oleh perubahan tegangan dan frekuensi serta kerapatan fluks. Sedangkan untuk membandingkan penggunaan transformator daya yang serba sama pada sistem kelistrikan yang berbeda, rugi histerisis dipengaruhi oleh perubahan tegangan dan frekuensi sistem kelistrikan yang ada, sedangkan rugi arus olak hanya dipengaruhi oleh perubahan tegangan. Lihat pembuktian rumus berikut:

Dari persamaan:  $E = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \Phi_{maks}$  dan persamaan:  $\Phi = B \cdot A$ , maka:

$$B_{maks} = \frac{E}{4,44 \cdot N \cdot A \cdot f}; \text{ karena } \frac{1}{4,44 \cdot N \cdot A}$$

Untuk transformator yang sama adala tetap (tidak berubah) maka dapat dianggap sebagai konstanta =  $K$ , sehingga:

$$B_{maks} = K \cdot \frac{E}{f} \text{ dan jika disubstitusi ke persamaan (2.20) dan (2.21):}$$

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_{maks}^x \text{ (dengan } x = 1,6), \text{ maka:}$$



$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_{maks}^{1,6} = K_h \cdot \left(K \cdot \frac{E}{f}\right)^{1,6} \cdot f = K_1 \frac{E^{1,6}}{f^{1,6}} \cdot f = K_1 \frac{E^{1,6}}{f^{0,6}} \dots\dots\dots (2. 22)$$

Dimana:  $K_1 = K_h \cdot K$ ,

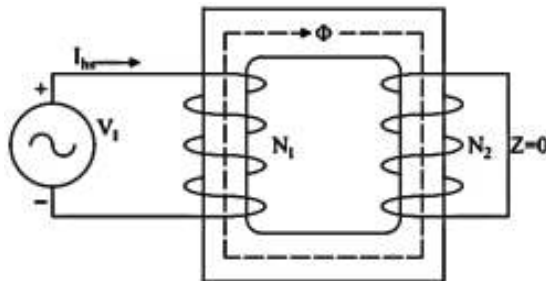
$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot B_{maks}^2 = K_e \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot \left(K \cdot \frac{E}{f}\right)^2 = K_2 \cdot f^2 \cdot \frac{E^2}{f^2} = K_2 \cdot E^2 \dots\dots\dots (2. 23)$$

Dimana  $K_2 = K_e \times t^2 \times K$  (karena  $t$ =ketebalan laminasi, parameter yang tetap untuk satu jenis transformator).

- Rugi histeris  $\uparrow$  jika perbandingan tegangan  $\uparrow$  dan atau frekuensi  $\downarrow$ .
- Rugi arus olak  $\uparrow$  jika perbandingan tegangan  $\uparrow$  (tidak dipengaruhi frekuensi).

## 2.6. Keadaan Transformator Terhubung Singkat

Transformator yang terhubung singkat (short circuit) adalah bila kumparan primer transformator tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  yang sinusoidal, dan pada kedua terminal sekunder terhubung satu sama lain. Rangkaian transformator terhubung singkat dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.10 Transformator Terhubung Singkat  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

### 2.6.1. Percobaan Hubung Singkat

Hubung singkat berarti impedansi beban  $Z_b$  diperkecil hingga menjadi nol. Dari hasil percobaan ini dapat ditentukan parameter-parameter  $Z_{ek}$  (impedansi ekuivalen),  $R_{ek}$  (tahanan ekuivalen), dan  $X_{ek}$  (reaktansi ekuivalen). Harga  $I_o$  pada percobaan ini relative lebih kecil bila dibandingkan dengan arus nominal, sehingga  $I_o$  hasil percobaan ini dapat diabaikan.

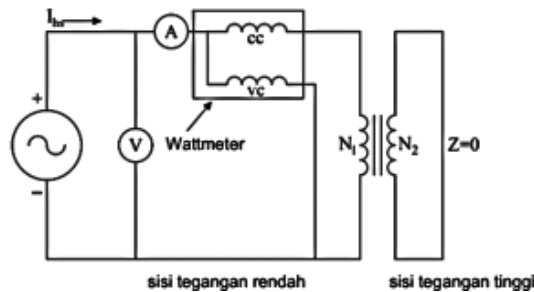
Rumus-rumus untuk menentukan parameter-parameter tersebut adalah:

$$R_{ek} = \frac{P_{hs}}{(I_{hs})^2} \dots\dots\dots (2. 24)$$

$$Z_{ek} = \frac{V_{hs}}{I_{hs}} = R_{ek} + jX_{ek} \dots\dots\dots (2. 25)$$

$$Z_{ek} = \sqrt{R_{ek}^2 + X_{ek}^2} \dots\dots\dots (2. 26)$$

Dimana:  $P_{hs}$  = daya hasil pengukuran hubung singkat  
 $V_{hs}$  = tegangan hasil pengukuran hubung singkat  
 $I_{hs}$  = arus hasil pengukuran hubung singkat

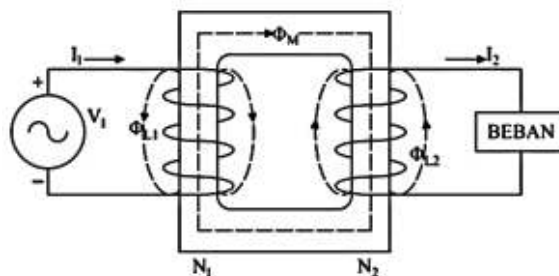


Gambar 2.11 Rangkaian Elivalen Pengukuran Transformator Terhubung Singkat  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Tahanan, reaktansi, dan impedansi ekivalen ( $R_{ek}$ ,  $X_{ek}$ ,  $Z_{ek}$ ) dapat dinyatakan dalam 2 referensi yaitu primer ( $R_{01}$ ,  $X_{01}$ ,  $Z_{01}$ ) atau sekunder ( $R_{02}$ ,  $X_{02}$ ,  $Z_{02}$ ), yang bersesuaian dengan letak alat ukur pada percobaan hubung singkat di sisi primer atau di sisi sekunder.

Dengan membuat parameter-parameter transformator berpatokan pada satu sisi, maka dapat lebih mempermudah perbandingan besarnya parameter antara kedua sisi, selain mempermudah perhitungan.

$X_{ek}$  pada transformator bersifat induktif ( $X_L$ ). Di dalam transformator ideal diasumsikan bahwa seluruh fluks yang melingkupi kumparan primer juga melingkupi kumparan sekunder, namun pada kenyataannya hal tersebut tidaklah memungkinkan, lihat gambar di bawah ini:



Gambar 2.12 Fluks Transformator  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Dimana :

$$\Phi_1 = \Phi_M + \Phi_{L1} \dots\dots\dots (2. 27)$$

$$\Phi_2 = \Phi_M + \Phi_{L2} \dots\dots\dots (2. 28)$$

$\Phi_1$  = fluks primer total

$\Phi_2$  = fluks sekunder total

$\Phi_M$  = fluks yang melingkupi sisi kumparan primer dan sisi kumparan sekunder (mutual)

$\Phi_{L1}$  = fluks bocor di sisi kumparan primer

$\Phi_{L2}$  = fluks bocor di sisi kumparan sekunder

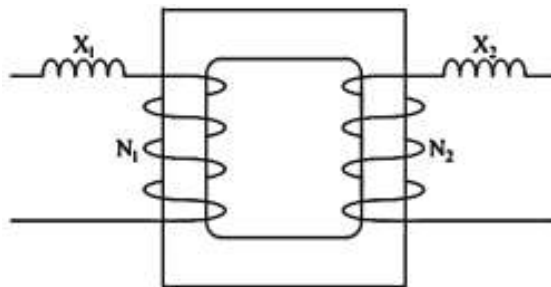
Dari gambar tersebut dapatlah dilihat bahwa transfer energi (secara magnetis) dari sisi primer ke sisi sekunder tidak pernah mencapai efisiensi 100%, karena adanya rugi-

rugi magnetis (magnetic-leakage). Hubungan antara ggl-induksi kumparan dengan arus yang mengalir dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$X_1 = \frac{E_1}{I_1} \dots\dots\dots (2. 29)$$

$$X_2 = \frac{E_2}{I_2} \dots\dots\dots (2. 30)$$

Dimana:  $E_1$  = tegangan induksi pada kumparan primer  
 $E_2$  = tegangan induksi pada kumparan sekunder  
 $X_1$  = reaktansi induksi pada kumparan primer  
 $X_2$  = reaktansi induksi pada kumparan sekunder  
 $I_1$  = arus sisi primer  
 $I_2$  = arus sisi sekunder



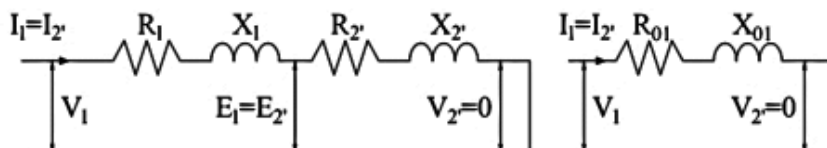
Gambar 2.13 Rangkaian Ekuivalen Transformator Terhubung Singkat  
 (Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya,Mohctar 2001)

Rugi-rugi magnetis atau kebocoran magnetis (magnetic leakage) dapat diperkecil pada transformator dengan saling menyisipkan (interleaving) antara kumparan primer dan kumparan sekunder.

Dari persamaan (2.24) di atas, serta persamaan (2.22) dan (2.23) terlihat bahwa rugi-rugi transformator pada keadaan terhubung singkat dan beban nol (tanpa beban) tidak dipengaruhi oleh faktor daya, melainkan dipengaruhi oleh arus, tegangan, dan frekuensi, hal inilah yang membuat rating transformator daya dalam besaran kVA atau VA, bukan dalam kW.

### 2.6.2. Karakteristik Transformator Terhubung Singkat

Diagram ekuivalen dari transformator pada keadaan terhubung singkat dapat diperinci dalam rangkaian primer dan sekunder.



Gambar 2.14 Rangkaian Ekuivalen Transformator Terhubung Singkat dengan Primer  
 sebagai Referensi

(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya,Mohctar 2001)

Dimana:

$$I_1 = I_2' = I_2/k \dots\dots\dots (2. 31)$$

$$E_1 = E_2' = E_2.k \dots\dots\dots (2. 32)$$

$$R_2' = R_2.k^2 \dots\dots\dots (2. 33)$$

$$X_2' = X_2.k^2 \dots\dots\dots (2. 34)$$

$$V_2' = V_2.k \dots\dots\dots (2. 35)$$

$$R_{01} = R_1 + R_2' \dots\dots\dots (2. 36)$$

$$X_{01} = X_1 + X_2' \dots\dots\dots (2. 37)$$

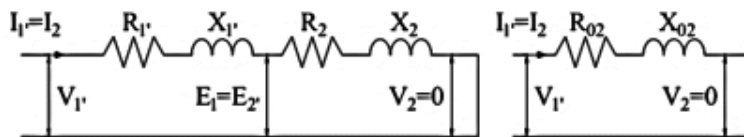
$$Z_{01} = \sqrt{R_{01}^2 + X_{01}^2} = Z_1 + Z_2' \dots\dots\dots (2. 38)$$

Sedangkan untuk parameter yang berpatokan (referensi) pada sisi sekunder adalah:

$$I_1' = I_2 = I_1.k \dots\dots\dots (2. 39)$$

$$E_1 = E_2' = E_1/k \dots\dots\dots (2. 40)$$

$$R_1' = R_1/k^2 \dots\dots\dots (2. 41)$$



Gambar 2.15 Rangkaian Ekivalen Transformator Terhubung Singkat dengan Sekunder sebagai Referensi

(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Dimana:

$$I_1' = I_2 = I_1/k \dots\dots\dots (2. 42)$$

$$E_1' = E_2 = E_1.k \dots\dots\dots (2. 43)$$

$$R_1' = R_1.k^2 \dots\dots\dots (2. 44)$$

$$X_1' = X_1.k^2 \dots\dots\dots (2. 45)$$

$$V_1' = V_1.k \dots\dots\dots (2. 46)$$

$$R_{02} = R_2 + R_1' \dots\dots\dots (2. 47)$$

$$X_{02} = X_2 + X_1' \dots\dots\dots (2. 48)$$

$$Z_{02} = \sqrt{R_{02}^2 + X_{02}^2} = Z_2 + Z_1' \dots\dots\dots (2. 49)$$

Pada umumnya jatuh tegangan transformator berpatokan pada arus beban penuh dan dinyatakan dalam persentase (%).

1. Persentase tahanan pada beban penuh

$$\%R = \frac{I_1 R_{01}}{V_1} \times 100\% = \frac{I_1^2 R_{01}}{V_1 I_1} \times 100\% = \frac{I_2^2 R_{02}}{V_2 I_2} \times 100\% = V_r \quad (2.50)$$

Persentase tersebut merupakan persentase rugi tembaga.

2. Persentase reaktansi pada beban penuh

$$\%X = \frac{I_1 X_{01}}{V_1} \times 100\% = \frac{I_2 X_{02}}{V_2} \times 100\% = V_x \quad (2.51)$$

3. Persentase impedansi pada beban penuh

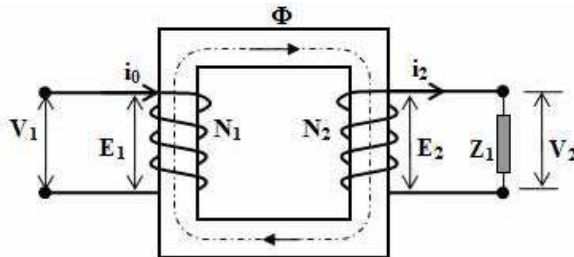
$$\%Z = \frac{I_1 Z_{01}}{V_1} \times 100\% = \frac{I_2 Z_{02}}{V_2} \times 100\% = V_z = \sqrt{V_r^2 + V_x^2} \quad (2.52)$$

## 2.7. Keadaan Transformator Berbeban

### 2.7.1. Umum

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_b$ , maka  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder, dimana :

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_b} \quad (2.53)$$



Gambar 2.16 Skematik Diagram Transformator Berbeban  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

Arus beban  $I_2$  akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  yang cenderung menentang fluks bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan  $I_m$ . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus  $I_2'$ , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ , hingga keseluruhan arus mengalir pada kumparan primer menjadi : (Wijaya, 2001)

$$I_1 = I_o + I_2' \quad (2.54)$$

Bila komponen arus rugi inti ( $I_c$ ) diabaikan, maka  $I_o = I_m$ , sehingga :

$$I_1 = I_m + I_2' \quad (2.55)$$

Untuk menjaga fluks tetap tidak berubah, sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_m$  saja, berlaku hubungan :

$$N_1 I_m = N_1 I_1 - N_2 I_2 \quad (2.56)$$

$$N_1 I_m = N_1 (I_m + I_2') - N_2 I_2 \quad (2.57)$$

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \quad (2.58)$$

Karena nilai  $I_m$  dianggap kecil, maka  $I_2' = I_1$ . Jadi,

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \dots\dots\dots (2. 59)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots (2. 60)$$

### 2.7.2. Efek Arus Sekunder

Dengan menganggap transformator ideal, bila tegangan  $V_1$  yang berubah terhadap waktu diberikan pada terminal primer, suatu fluks inti harus ditimbulkan sedemikian, sehingga tegangan gerak listrik balik  $E_1$  sama dengan tegangan yang diberikan, bila tahanan kumparan dapat diabaikan ( $V_1 = E_1$ ). Fluks ini juga dirangkum oleh kumparan sekunder dan menghasilkan tegangan gerak listrik  $E_2$  dan tegangan terminal sekunder yang sama ( $V_2 = E_2$ ).

Dari persamaan (2.9) dan (2.59) didapatkan hubungan :

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \dots\dots\dots (2. 61)$$

yaitu daya masuk sama dengan daya keluar, suatu syarat yang perlu karena semua penyebab kerugian daya yang aktif dan daya reaktif dalam transformator telah diabaikan.

Persamaan (2.9) dan (2.59) dapat juga dinyatakan sebagai :

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} \times V_2 \text{ dan } V_2 = \frac{N_2}{N_1} \times V_1 \dots\dots\dots (2. 62)$$

$$I_1 = \frac{N_1}{N_2} \times I_2 \text{ dan } I_2 = \frac{N_1}{N_2} \times I_1 \dots\dots\dots (2. 63)$$

Dari persamaan-persamaan tersebut didapat :

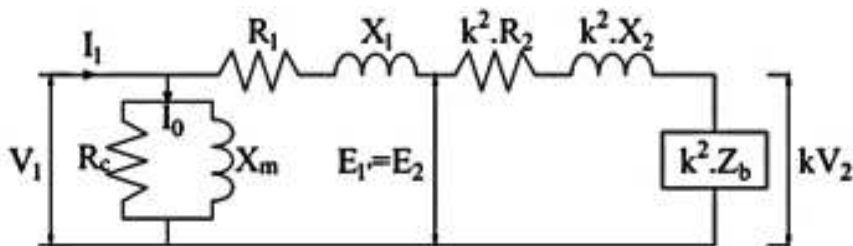
$$\frac{V_1}{I_1} = \left[ \frac{N_1}{N_2} \right]^2 = \frac{V_2}{I_2} = k^2 \cdot Z_b \dots\dots\dots (2. 64)$$

Dimana  $Z_b$  adalah impedansi kompleks beban. Konsekuensinya sejauh menyangkut efeknya, suatu impedansi  $Z_b$  dalam rangkaian sekunder dapat digantikan dengan impedansi  $Z_1$  yang ekuivalen dalam rangkaian primer, yaitu:

$$Z_1 = \left[ \frac{N_1}{N_2} \right]^2 \cdot Z_2 = k^2 \cdot Z_2 \dots\dots\dots (2. 65)$$

### 2.7.3. Rangkaian Ekuivalen dan Karakteristik

Dengan memperhitungkan rugi-rugi dari percobaan beban nol dan percobaan hubung singkat, maka rangkaian ekuivalen dari transformator berbeban dapat digambarkan seperti pada gambar berikut ini:



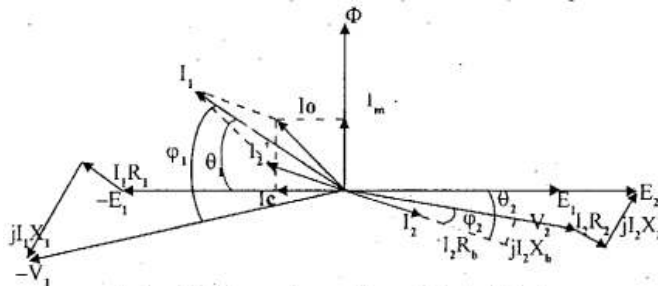
Gambar 2.17 Rangkaian Ekuivalen Transformator Berbeban dengan sisi Primer sebagai Referensi

(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

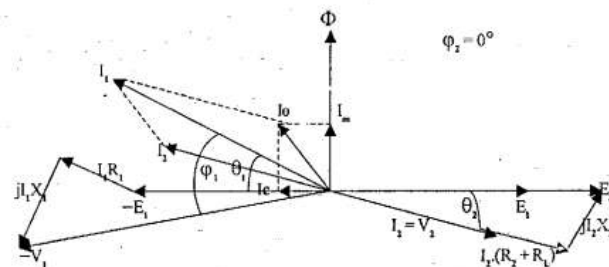
Dimana:  $G_c$  (konduktansi) =  $1/R_c$ , dan  $B_m$  (Suseptansi) =  $1/X_m$

$$Y_0 = 1/Z_0 = G_c + B_m \dots\dots\dots (2. 66)$$

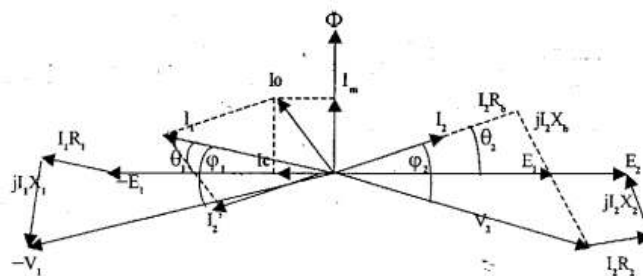
Dari rangkaian gambar 2.17 dapat dibuat diagram vektornya sebagai berikut:



Gambar 2.18 Diagram Vektor Transformator Berbeban Induktif  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya,Mohctar 2001)



Gambar 2.19 Diagram Vektor Transformator Berbeban Resistif  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya,Mohctar 2001)



Gambar 2.20 Diagram Vektor Transformator Berbeban Kapasitif  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya,Mohctar 2001)

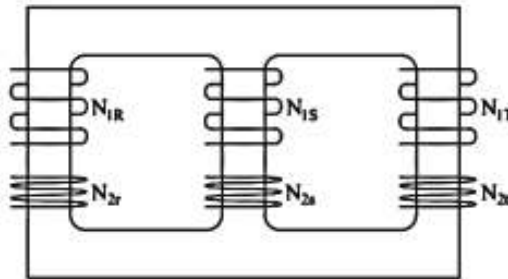
## 2.8. Transformator Tiga Fasa

Pada prinsipnya transformator tiga fasa sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah seperti perbedaan system listrik satu fasa dengan listrik tiga fasa, yaitu mengenal sistem bintang (Y) dan segitiga ( $\Delta$ ), serta sistem zigzag, dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan untuk kerja paralel transformator tiga fasa. Untuk

menganalisa transformator daya tiga fasa dilakukan dengan memandang/menganggap transformator 3 fasa sebagai transformator 1 fasa, teknik perhitungannya pun sama, hanya untuk nilai akhir biasanya parameter tertentu (arus, tegangan, dan daya) transformator 3 fasa dikaitkan dengan nilai  $\sqrt{3}$ .

Transformator tiga fasa ini dikembangkan dengan alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator daya tiga fasa, lebih ringan dan lebih kecil sehingga mempermudah pengangkutan (menekan biaya pengiriman), serta untuk menangani operasinya hanya satu buah transformator yang perlu mendapat perhatian (meringankan pekerjaan perawatan). (Wijaya, 2001)

Adapun contoh konstruksi transformator 3 fasa dengan inti tunggal:



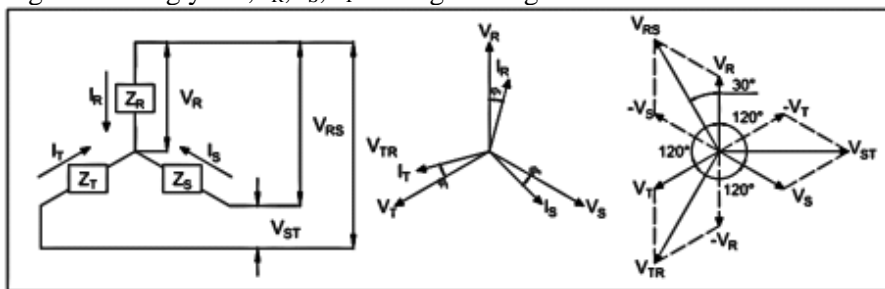
Gambar 2.21 Konstruksi Transformator 3 Fasa Inti Tunggal  
(Sumber: Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Wijaya, Mohctar 2001)

## 2.9. Hubungan Transformator Tiga fasa

Secara umum ada 2 macam jenis hubungan pada transformator tiga fasa yaitu:

### 2.9.1. Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang ialah hubungan transformator tiga fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. Arus transformator tiga phasa dengan kumparan yang dihubungkan bintang yaitu;  $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$  masing-masing berbeda  $120^\circ$ .



Gambar 2.22 Transformator Tiga Fasa Hubungan Bintang  
(Sumber : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya, 2001)

Dari gambar 2.22 di atas dapat diperoleh penjumlahan vektor:

$$V_{RS} = V_R + (-V_S) = V_R - V_S$$

Jika  $V_R = V_S = V_T = V_{Fasa} = V_{ph}$ , maka :



$$V_{RS} = 2 \times V_{ph} \times \cos (60^\circ/2) = \sqrt{3} V_{ph}$$

Dengan cara yang sama di dapat :

$$V_{ST} = V_S - V_T = \sqrt{3} V_{ph}$$

$$V_{TR} = V_T - V_R = \sqrt{3} V_{ph}$$

Karena  $V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_{\text{jala-jala}} = V_L$ , maka:

$$V_L = \sqrt{3} V_{ph} \dots\dots\dots (2. 67)$$

Arus jala-jala (line current):

$$R = I_R$$

$$S = I_S$$

$$T = I_T$$

Arus fasa (phase current):

$$RN = I_R$$

$$SN = I_S$$

$$TN = I_T$$

$$\text{Didapat: } I_L = I_{ph} \dots\dots\dots (2. 68)$$

Total daya aktif 3 fasa = 3 x daya aktif per fasa, atau:

$$P_{3\phi} = 3 \times P_{1\phi} = 3 \times V_{ph} \times I_{ph} \times \cos \phi \dots\dots\dots (2. 69)$$

Dari persamaan (2.67) dan (2.68), maka:

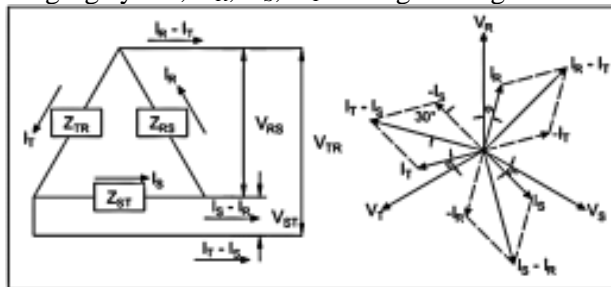
$$P_{3\phi} = 3 \times \frac{V_L}{\sqrt{3}} \times I_L \times \cos \phi = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2. 70)$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \phi \dots\dots\dots (2. 71)$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \dots\dots\dots (2. 72)$$

### 2.9.2. Hubungan Segitiga/Delta ( $\Delta$ )

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga phasa dengan kumparan yang dihubungkan segitiga yaitu;  $V_R$ ,  $V_S$ ,  $V_T$  masing-masing berbeda  $120^\circ$ .



Gambar 2.23 Transformator Tiga Fasa Hubungan Segitiga/Delta  
(Sumber : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya, 2001)

Dari gambar di atas diperoleh persamaan:

$$I_R = I_S = I_T = I_{ph}; \quad I_S - I_R = 2 \times I_{ph} \times \cos (60^\circ/2) = \sqrt{3} I_{ph}$$

$$I_R - I_T = \sqrt{3} I_{ph}$$

$$I_T - I_S = \sqrt{3} I_{ph}, \text{ karena:}$$

$$I_S - I_R = I_R - I_T = I_T - I_S = I_L, \text{ maka: } I_L = \sqrt{3} I_{ph} \dots\dots\dots (2. 73)$$

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_L$$

$$V_L = V_{ph} \dots\dots\dots (2. 74)$$

$$P_{3\phi} = 3 \times V_{ph} \times I_{ph} \times \cos \phi$$

Dari persamaan (2.73) dan (2.74), maka:

$$P_{3\phi} = 3 \times \frac{I_L}{\sqrt{3}} \times V_L \times \cos \phi = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2. 75)$$

## 2.10. Jenis - Jenis Hubungan Transformator Tiga Fasa

Dalam pelaksanaanya, tiga buah lilitan fasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam-macam hubungan, seperti bintang dan segitiga, dengan kombinasi Y-Y, Y-Δ, Δ-Y, Δ-Δ, bahkan untuk kasus tertentu lilitan sekunder dapat dihubungkan secara berliku-liku (zig-zag), sehingga didapatkan kombinasi Y-Zigzag Y dan Δ-Zigzag Y. (Wijaya, 2001)

Hubungan zig-zag merupakan sambungan bintang “istimewa”, hubungan ini untuk mengantisipasi kejadian yang mungkin terjadi apabila dihubungkan secara bintang dengan beban setiap fasanya tidak seimbang.

Umumnya simbol-simbol di atas digantikan dengan huruf-huruf kapital D, Y untuk kumparan primer dan huruf kecil d, y, dan z untuk kumparan sekunder. Di bawah ini pembahasan hubungan transformator tiga fasa secara umum:

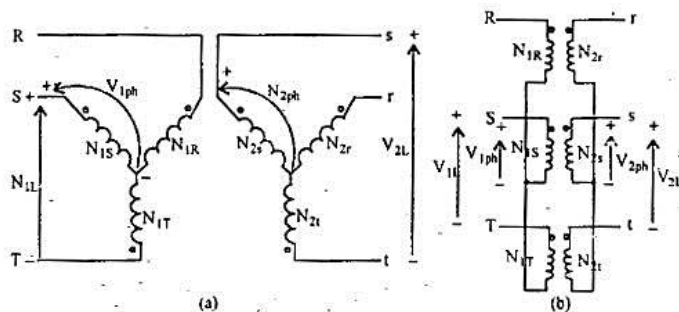
### 2.10.1. Hubungan Wye-Wye (Y-Y)

Pada hubungan bintang-bintang, rasio tegangan fasa-fasa (L-L) pada primer dan sekunder adalah sama dengan rasio setiap trafo. Sehingga, terjadi pergeseran fasa sebesar  $30^\circ$  antara tegangan fasa-netral (LN) dan tegangan fasa-fasa (L-L) pada sisi primer dan sekundernya. Pada hubungan Y-Y, tegangan masing-masing primer fasa adalah:

$$V_{1ph} = V_{1L} / \sqrt{3} \dots\dots\dots (2. 76)$$

Tegangan phasa primer sebanding dengan tegangan phasa sekunder dan perbandingan belitan transformator maka, perbandingan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder pada transformator hubungan Y-Y adalah:

$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3}V_{1ph}}{\sqrt{3}V_{2ph}} = k \dots\dots\dots (2. 77)$$



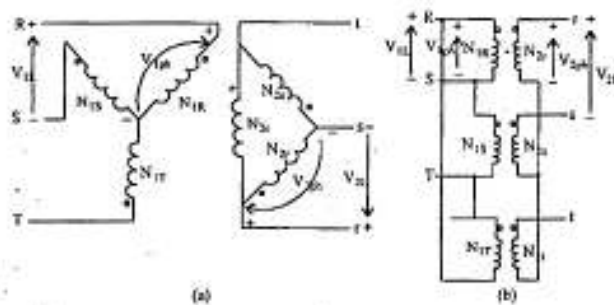
Gambar 2.24 Transformator Tiga Fasa Hubungan Y-Y

(Sumber : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya, 2001)

### 2.10.2. Hubungan Wye-Delta (Y-Δ)

Transformator hubungan Y-Δ, digunakan pada saluran transmisi sebagai penaik tegangan. Rasio antara sekunder dan primer tegangan fasa-fasa adalah  $1/\sqrt{3}$  kali rasio setiap trafo. Terjadi sudut  $30^\circ$  antara tegangan fasa-fasa antara primer dan sekunder yang berarti bahwa trafo Y-Δ tidak bisa diparalelkan dengan trafo Y-Y atau trafo Δ-Δ. Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan fasa primer ( $V_{1L} = \sqrt{3} V_{1ph}$ ) dan tegangan kawat ke kawat sekunder sama dengan tegangan fasa ( $V_{2L} = V_{2ph}$ ), sehingga diperoleh perbandingan tegangan pada hubungan Y-Δ adalah:

$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3} V_{1ph}}{V_{2ph}} = \sqrt{3} k \dots \dots \dots (2.78)$$

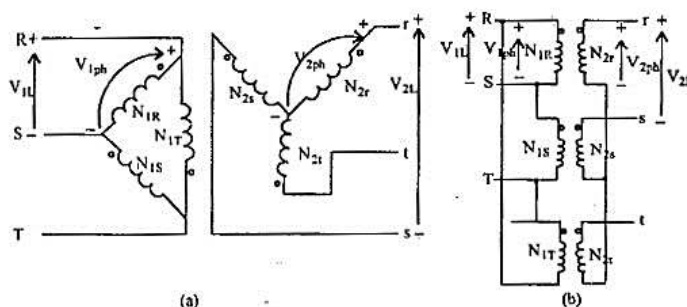


Gambar 2.25 Transformator Tiga Fasa Hubungan Y- Δ  
(Sumber : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya, 2001)

### 2.10.3. Hubungan Delta-Wye (Δ-Y)

Transformator hubungan Δ-Y, digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan rendah. Pada hubungan Δ-Y, tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan fasa primer ( $V_{1L} = V_{1ph}$ ), dan tegangan sisi sekundernya ( $V_{2L} = \sqrt{3} V_{2ph}$ ), maka perbandingan tegangan pada hubungan Δ-Y adalah:

$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1ph}}{\sqrt{3} V_{2ph}} = \frac{k}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.79)$$



Gambar 2.26 Transformator Tiga Fasa Hubungan Δ-Y  
(Sumber : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya, 2001)

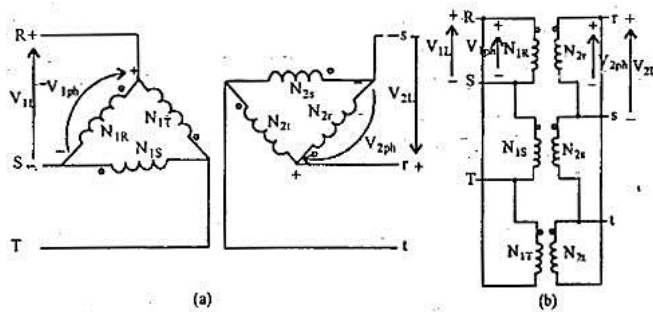
#### 2.10.4. Hubungan Delta-Delta ( $\Delta$ - $\Delta$ )

Pada transformator hubungan  $\Delta$ - $\Delta$ , tegangan kawat ke kawat dan tegangan fasa sama untuk sisi primer dan sekunder transformator ( $V_{RS} = V_{ST} = V_{TR}$ ), maka perbandingan tegangannya adalah:

$$\frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = k \dots \dots \dots (2.80)$$

Sedangkan arus pada transformator hubungan  $\Delta$ - $\Delta$  adalah:

$$I_L = \sqrt{3}I_P$$



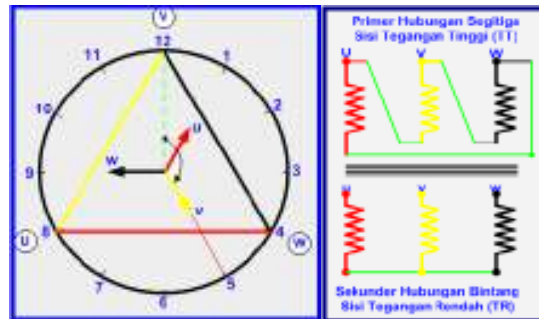
Gambar 2.27 Transformator Tiga Fasa Hubungan  $\Delta$ - $\Delta$   
(Sumber : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya, 2001)

#### 2.11. Bilangan Jam/Grup Vektor

Selain dibagi atas berbagai hubungan di atas, hubungan tersebut masih dibagi lagi menjadi beberapa jenis, sesuai dengan besarnya pergeseran fasa, yang dikenal sebagai bilangan jam. Adapun pembagian grup/kelompok hubungan transformator yakni berdasarkan penunjukkan jarum jam dari vektornya. (Wijaya, 2001)

Dalam menentukan kelompok hubungan diambil beberapa patokan sebagai berikut :

1. Notasi untuk hubungan delta, bintang, dan zigzag yakni D,Y untuk sisi tegangan tinggi dan huruf kecil d,y, dan z untuk sisi tegangan rendah.
2. Untuk urutan fasa, dipakai notasi U, V, W untuk tegangan tinggi dan u, v, w untuk tegangan rendah.
3. Tegangan primer dianggap sebagai tegangan tinggi dan tegangan sekunder sebagai tegangan rendah.
4. Angka jam menyatakan bagaimana letak sisi kumparan tegangan tinggi terhadap sisi kumparan rendah.
5. Jarum jam panjang dibuat selalu menunjuk angka 12 dan dibuat berimpit (dicocokkan) dengan vektor fasa  $V_L$  tegangan tinggi line to line.
6. Tergantung dari perbedaan fasanya, vektor fasa tegangan rendah (u, v, w) dapat dilukiskan, letak vektor fasa  $v_L$  tegangan rendah line to line menunjukkan arah jarum jam pendek.
7. Sudut antara jarum jam panjang dan pendek adalah pergeseran antara fasa V dan v.



Gambar 2.28 Kelompok Hubungan Dy5  
(Sumber : Dasar Tenaga Listrik oleh Zuhal, 1982)

Untuk memudahkan, pabrik-pabrik pada pelaksanaannya membatasi jumlah kelompok hubungan dengan membuat normalisasi pada kelompok hubungan yang dianggap baku.

Standardisasi yang banyak diikuti adalah menurut peraturan Jerman, yaitu VDE 0532. Kelompok hubungan yang disarankan untuk digunakan adalah Yy0, Dy5, Yd5, dan Yz5.

Tabel 2.1 Kelompok Hubungan Menurut VDE 0532

Angka Jam	Kelompok Hubungan	Tegangan Tinggi (TT)	Tegangan Rendah (TR)	Hubungan Lilitan TT	Hubungan Lilitan TR	Perb. Lilitan a
0	Dd0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz0					$\frac{2N_1}{3N_2}$
5	Dy5					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd5					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz5					$\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$
6	Dd6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz6					$\frac{2N_1}{3N_2}$
11	Dy11					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd11					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz11					$\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$

### 2.12. Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana: (Simamora, 2014)

- Ketiga vektor/tegangan sama besar
- Ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan tidak seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 macam, yaitu:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain

Menentukan besaran ketidakseimbangan beban pada tiap fasa (analisa pembebanan) :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots (2. 81)$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} \dots\dots\dots (2. 82)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} \dots\dots\dots (2. 83)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} \dots\dots\dots (2. 84)$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$KB = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \dots\dots\dots (2. 85)$$

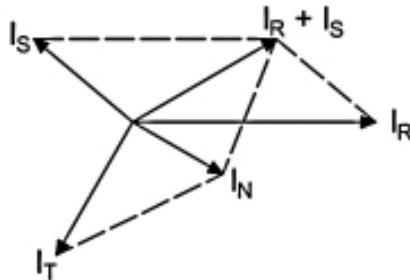
### 2.13. Arus Netral

Arus netral dalam sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa empat kawat. Arus netral ini muncul jika: (Indrakoesoema, 2012)

- Kondisi beban tidak seimbang
- Karena adanya arus harmonisa akibat beban non-linear.

Arus yang mengalir pada kawat netral yang merupakan arus bolak-balik untuk sistem distribusi tiga fasa empat kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris. Akibat pembebanan di tiap phasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika di hantaran pentanahan netral terdapat nila tahanan dan dialiri arus, maka kawat netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada trafo tidak seimbang.

$$I_N = \sqrt{I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 - I_R \cdot I_S - I_R \cdot I_T - I_S \cdot I_T} \dots\dots\dots (2. 86)$$



Gambar 2.29 Diagram Fasor Ketidakseimbangan Arus pada Sistem Tenaga Listrik Tiga Fasa

(Sumber : Dasar-Dasar Mesin Listrik oleh Mochtar Wijaya, 2001)

Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral, akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral sebesar:

$$P_N = I_N \cdot R_N \dots\dots\dots (2. 87)$$

Dimana:

$P_N$  = Losses yang timbul pada penghantar netral (watt)

$I_N$  = Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)

$R_N$  = Tahanan pada kawat netral (Ohm)

## 2.14. Efisiensi Transformator

Seperti mesin listrik pada umumnya dimana efisiensi transformator pada beban dan faktor daya tertentu didefinisikan sebagai output dibagi dengan input, keduanya diukur dalam satuan yang sama. (Baik watt atau kilowatt) (Theraja BL,1978)

$$\eta (\%) = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \dots\dots\dots (2. 88)$$

Dimana:

$$P_{In} = P_{Out} + \sum P_{Rugi} \dots\dots\dots (2. 89)$$

Tetapi transformator akan menjadi peralatan dengan efisiensi yang tinggi dan memiliki kerugian yang sedikit sehingga tidak praktis jika mengukur efisiensi transformator hanya memasukkan input dan output saja. Oleh karena itu perlu menentukan kerugian dalam menghitung efisiensi pada transformator.

$$\eta (\%) = \frac{P_{Out}}{P_{Out} + \sum P_{Rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots (2. 90)$$

$$\sum P_{Rugi} = P_i + P_t \dots\dots\dots (2. 91)$$

Dimana:

$P_i$  = Rugi besi (Watt)

$P_t$  = Rugi tembaga (Watt)

$$P_t = I_1^2 \cdot R_{01} = I_2^2 \cdot R_{02} = I_1^2 \cdot R_1 = I_2^2 \cdot R_2 \dots\dots\dots (2. 92)$$

$$\eta (\%) = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta_2}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta_2 + P_i + I_2^2 \cdot R_{02}} \times 100\% \dots\dots\dots (2. 93)$$

$P_i$  adalah rugi tetap, tidak dipengaruhi besarnya beban.

$P_t$  adalah rugi tidak tetap, dipengaruhi oleh besarnya beban.

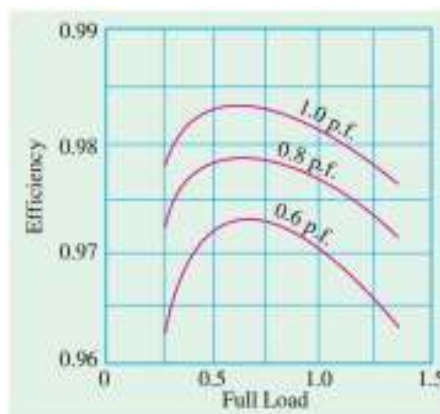
$P_t$  sebanding dengan kuadrat arus beban atau kuadrat daya semunya.

Dari persamaan (2. 88) sampai dengan (2. 93), dapat dilihat bahwa efisiensi akan bervariasi terhadap faktor daya, secara lebih jelas persamaan tersebut dapat ditulis kembali sebagai:

$$\eta = \frac{P_{In} - \sum P_{Rugi}}{P_{In}} = 1 - \frac{\sum P_{Rugi}}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta_2 + \sum P_{Rugi}}, \text{ bila } \frac{\sum P_{Rugi}}{V_2 \cdot I_2} = x, \text{ maka:}$$

$$\eta = 1 - \frac{\left( \frac{\sum P_{Rugi}}{V_2 \cdot I_2} \right)}{\cos \theta_2 + \left( \frac{\sum P_{Rugi}}{V_2 \cdot I_2} \right)} = 1 - \frac{x}{\cos \theta_2 + x} \text{ atau:}$$

$$\eta = 1 - \frac{\left( \frac{x}{\cos \theta_2} \right)}{1 + \left( \frac{x}{\cos \theta_2} \right)} \dots \dots \dots (2. 94)$$



Gambar 2.30 Variasi Efisiensi Terhadap Faktor Daya  
(Sumber: A Text-book of Electrical Technology by Theraja BL.,1978)

$$\text{Efisiensi akan maksimum apabila } \left[ \frac{\left( \frac{x}{\cos \theta_2} \right)}{1 + \left( \frac{x}{\cos \theta_2} \right)} \right] = 0 \text{ atau } \frac{d\eta}{dl} = 0$$

Dari persamaan (2. 93) :

$$\frac{1}{\eta} = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta_2 + P_i + I_2^2 \cdot R_{02}}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta_2} = 1 + \frac{P_i + I_2^2 \cdot R_{02}}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta_2}$$

$$\frac{1}{\eta} = 1 + \frac{P_i}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta_2} + \frac{I_2 \cdot R_{02}}{V_2 \cdot \cos \theta_2}$$

$$\frac{d(1/\eta)}{dl} = \frac{R_{02}}{V_2 \cdot \cos \theta_2} - \frac{P_i}{V_2 \cdot I_2^2 \cdot \cos \theta_2} = 0$$

$$P_i = I_2^2 \cdot R_{02} \dots \dots \dots (2. 95)$$



Syarat transformator mencapai efisiensi maksimumnya, apabila rugi besi sama dengan rugi tembaga.

Dapat dicatat di sini bahwa efisiensi didasarkan pada daya output dalam watt dan tidak dalam satuan volt-ampere, meskipun kerugian sebanding dengan VA. Oleh karena itu, pada setiap beban volt-ampere, efisiensi tergantung pada faktor daya, menjadi maksimum pada faktor daya persatuan. Efisiensi dapat dihitung dengan menentukan kerugian inti dari tanpa beban atau tes sirkuit terbuka dan kerugian Cu dari tes arus pendek.

### 2.15. Regulasi Tegangan Transformator

Ketika transformator dibebani dengan tegangan primer yang konstan, tegangan sekunder berkurang jika memiliki faktor daya lagging dan tegangan akan bertambah jika memiliki faktor daya leading. Hal tersebut dikarenakan terjadi hambatan internal dan kebocoran reaktansi. (Theraja, 1978)

$V_{NL}$  = Tegangan sekunder saat tanpa beban

$V_{FL}$  = Tegangan sekunder saat beban penuh

Perubahan tegangan sekunder dari tanpa beban ke beban penuh =  $V_{NL} - V_{FL}$ . Perubahan ini dibagi oleh  $V_{NL}$  yang dikenal sebagai regulasi ‘turun’. Jika perubahan ini dibagi oleh  $V_{FL}$  (tegangan sekunder pada beban penuh) maka disebut dengan regulasi ‘naik’.

$$\%VR \text{ (regulasi 'turun')} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% \dots\dots\dots (2. 96)$$

$$\%VR \text{ (regulasi 'naik')} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \dots\dots\dots (2. 97)$$

Standard regulasi tegangan pada transformator dapat diterima atau tidak yaitu menggunakan standard IEC (Internatioanl Electrotechnical Commission). Menurut IEC 60076, batas maksimum regulasi tegangan yang terjadi pada transformator :

1. 2,5% untuk transformator 1 fasa dengan nilai kapasitasnya di atas 5 kVA atau trafo 3 fasa dengan nilai kapasitas lebih dari 15kVA.
2. 5% untuk transformator 1 fasa dengan nilai kapasitasnya hingga 5 kVA atau trafo 3 fasa dengan nilai kapasitas hingga 15kVA..

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB III METODOLOGI**

Metodologi merupakan langkah-langkah pengerjaan tugas akhir secara sistematis yang dilakukan sejak dimulainya pengerjaan hingga akhir dari proses penelitian. Metodologi penelitian diperlukan agar proses penelitian dapat berjalan sesuai dengan harapan dan memperoleh hasil yang maksimal.

Pada tugas akhir ini digunakan metode dengan melakukan praktikum untuk pengambilan data yang dilanjutkan dengan melakukan perhitungan – perhitungan yang dibutuhkan dalam melakukan analisa pengaruh beban tidak seimbang terhadap performa transformator 3 phasa feedback 61-103 pada berbagai hubungan belitan.

### **3.1. Tempat Pengujian**

Tempat pengujian penelitian ini dilakukan di Laboratorium Listrik Kapal dan Sistem Otomasi, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

### **3.2. Studi Literatur**

Pada tahap ini awalnya mempelajari dasar-dasar dari transformator 3 phasa untuk menunjang penelitian dan diharapkan dengan melakukan studi literatur terlebih dahulu maka akan didapatkan tata cara pengambilan data dan analisa yang tepat dalam menganalisa performa transformator 3 phasa feedback 61-103. Studi literature pada penelitian ini dapat diambil dari sumber referensi manual book three phase transformator, buku teknik, dan jurnal terkait.

### **3.3. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data merupakan langkah untuk pengambilan suatu data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Pengumpulan data tersebut meliputi:

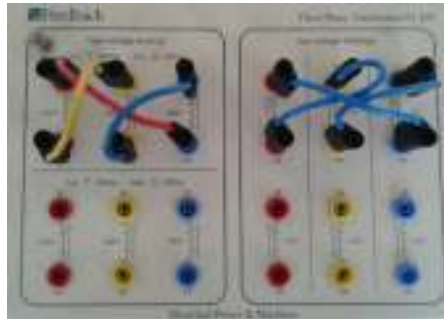
- a. Data utama Transformator 3 phasa feedback 61-103
- b. Data utama Switch Resistance Load 67-140

Langkah dalam pelaksanaan pengumpulan data merupakan pengujian dari transformator 3 phase pada berbagai hubungan belitan. Untuk melakukan pengujian diperlukan alat dan bahan, variabel yang diamati, tahapan pengujian, dan pengambilan data sebagai berikut:

#### **3.3.1. Alat dan Bahan Pengujian**

##### **a. Three Phase Transformator 61-103**

Merupakan alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik yang sering dipakai dalam distribusi listrik dari generator menuju ke beban.



Gambar 3.1 Three Phase Transformer 61-103  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

**b. Three Phase Supply Control 61-100**

Merupakan suatu alat yang terdiri dari earth leakage breaker dan 3 phase and single-phase circuit breaker yang digunakan untuk menhidupkan dan mematikan suplai listrik untuk transformator dan suplai Switch Resistance Load 67-140 dan Single & Three Phase Measurement 68-100.



Gambar 3.2 Three Phase Supply Control 61-100  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

**c. AC/DC Electrodynamic Wattmeter 68-201**

Merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur daya listrik yang pembacaannya dalam satuan watt.



Gambar 3.3 AC/DC Electrodynamic Wattmeter 68-201  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

**d. Voltmeter**

Merupakan suatu alat instrumen yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik.



Gambar 3.4 Voltmeter  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

**e. Multimeter**

Merupakan suatu alat pengukur listrik yang dikenal sebagai VOM (Volt Ohm meter) yang dapat mengukur tegangan, hambatan, maupun arus.



Gambar 3.5 Multimeter  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

**f. Ammeter dan Clamp meter**

Ammeter dan Clamp meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik yang ada dalam rangkaian tertutup. Perbedaan kedua alat tersebut terletak pada pemasangannya. Ammeter dipasang langsung terhubung ke sirkuit sedangkan clamp meter tidak perlu terhubung ke sirkuit.



Gambar 3.6 Ammeter  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)



Gambar 3.7 Clamp meter  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

**g. Switch Resistance Load 67-140**

Merupakan suatu alat yang digunakan sebagai beban yang bersifat resistif. Beban ini dipasang terhubung dengan sisi sekunder transformator.



Gambar 3.8 Switch Resistance Load 67-140  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

#### h. Single & Three Phase Measurement 68-100

Merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya,  $\cos \Phi$  dan lain – lain pada sistem 3 fasa maupun satu fasa.



Gambar 3.9 Single & Three Phase Measurement 68-100  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

#### i. Kabel

Merupakan suatu alat yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal listrik dari satu tempat ke tempat lain.



Gambar 3.10 Kabel  
(Sumber: Foto dari Laboratorium MEAS)

### 3.3.2. Variabel yang diamati

Variabel yang diamati pada pengujian ini yaitu:

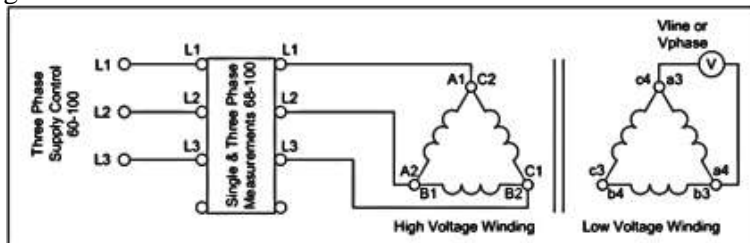
- Tegangan line to line ( $V_{Line}$ ) dan line to netral ( $V_{Fasa}$ ) keluaran dan beban.
- Arus line ( $I_{Line}$ ) dan arus phase ( $I_{Fasa}$ ) pada sisi primer dan sekunder saat beban tidak seimbang pada berbagai hubungan belitan.
- Daya pada sisi primer dan sekunder saat beban tidak seimbang pada berbagai hubungan belitan.
- Faktor daya ( $\cos \Phi$ ) pada sisi primer dan sisi sekunder saat beban tidak seimbang pada berbagai hubungan belitan.

### 3.3.3. Tahapan Pengujian

Pada tahap pengujian ini akan dilakukan proses perakitan peralatan yang akan dilanjutkan dengan langkah-langkah sesuai prosedur percobaan yang digunakan dalam proses pengujian. Berikut beberapa rangkaian percobaan dalam proses perakitan peralatan:

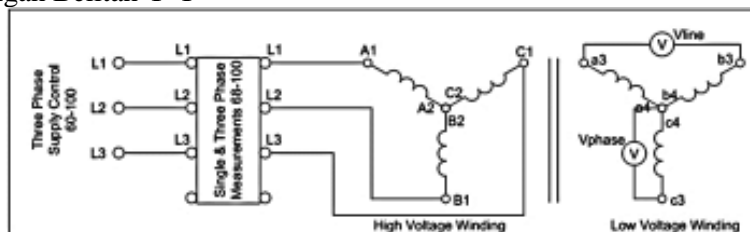
#### 1. Rangkaian Percobaan Tanpa Beban

##### a. Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$



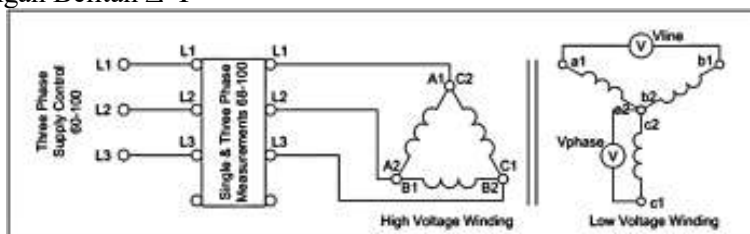
Gambar 3.11 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$

##### b. Hubungan Belitan Y-Y



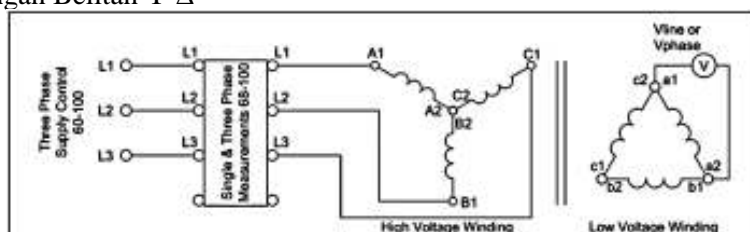
Gambar 3.12 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y-Y

##### c. Hubungan Belitan $\Delta$ -Y



Gambar 3.13 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan  $\Delta$ -Y

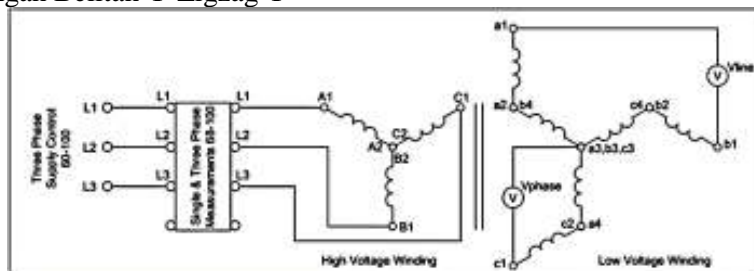
##### d. Hubungan Belitan Y- $\Delta$



Gambar 3.14 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y- $\Delta$

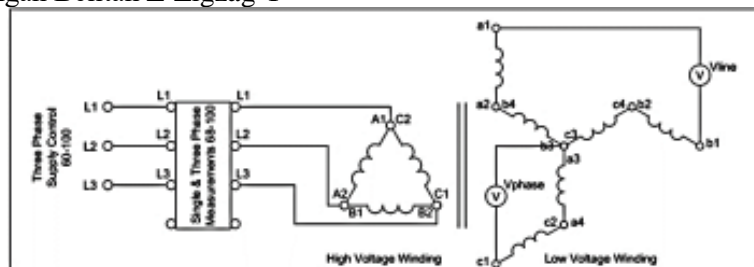


e. Hubungan Belitan Y-Zigzag Y



Gambar 3.15 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

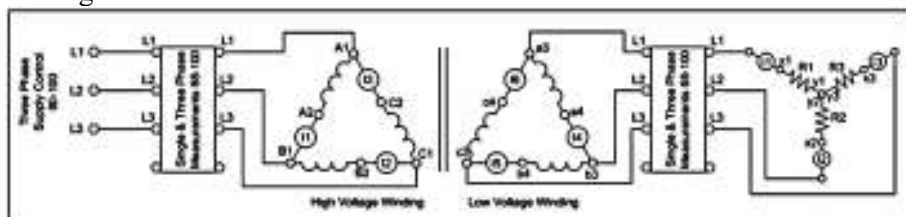
f. Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y



Gambar 3.16 Rangkaian Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

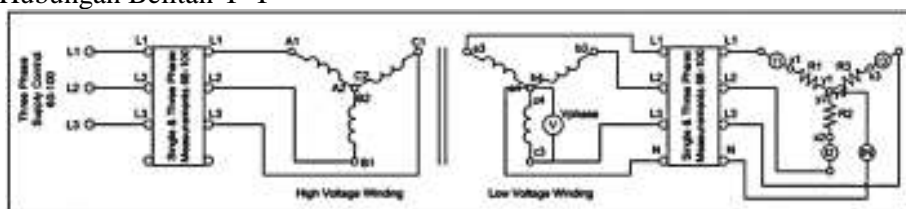
2. Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y

a. Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$

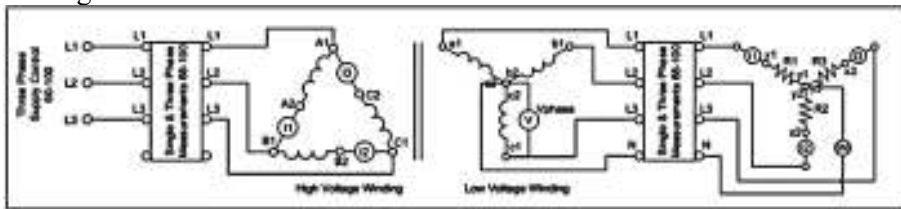
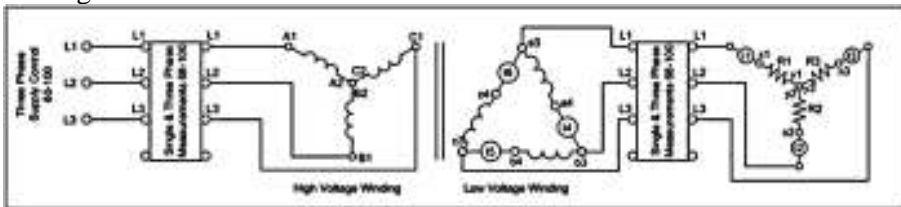


Gambar 3.17 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$

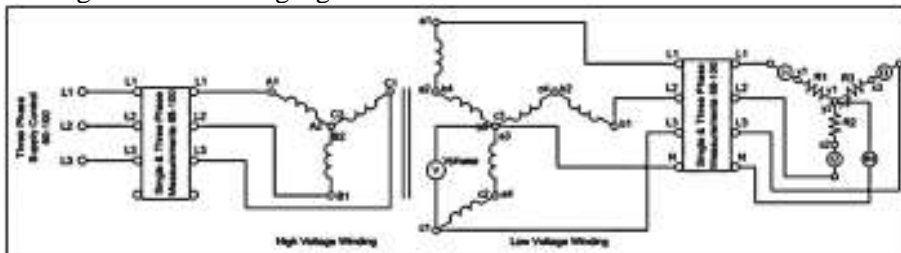
b. Hubungan Belitan Y-Y



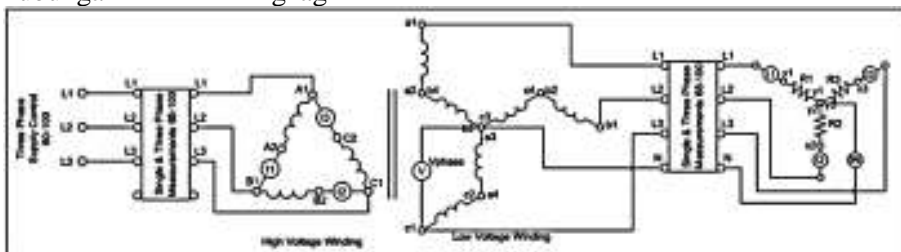
Gambar 3.18 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y

c. Hubungan Belitan  $\Delta$ -YGambar 3.19 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ -Yd. Hubungan Belitan Y- $\Delta$ Gambar 3.20 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$ 

## e. Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

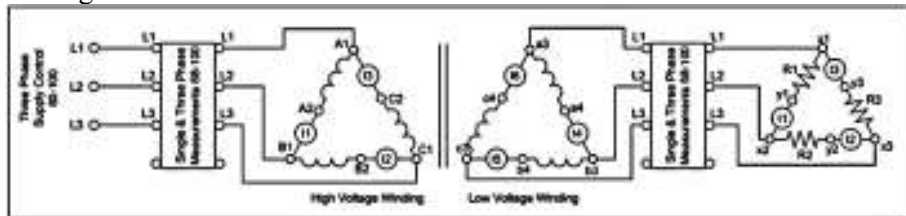


Gambar 3.21 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

f. Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag YGambar 3.22 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y

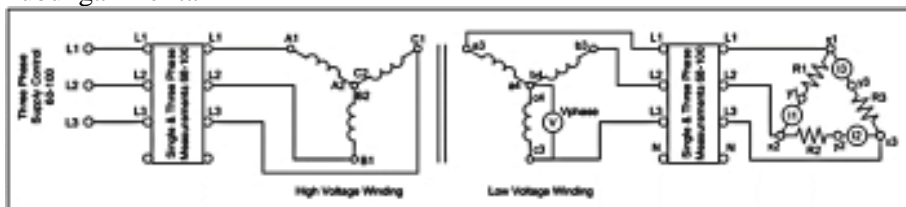
### 3. Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$

#### a. Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$



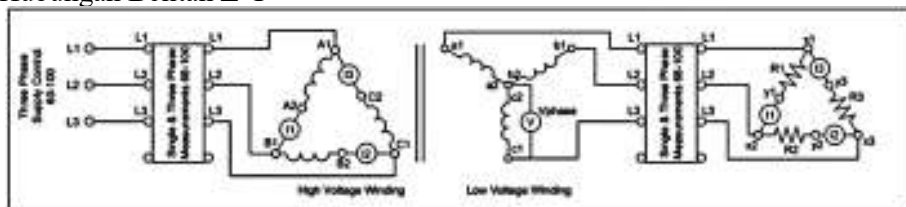
Gambar 3.23 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$

#### b. Hubungan Belitan Y-Y



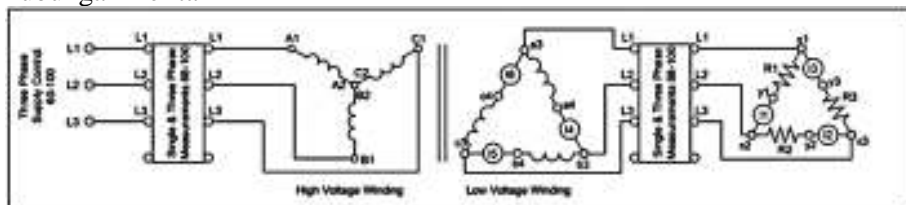
Gambar 3.24 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Y

#### c. Hubungan Belitan $\Delta$ -Y



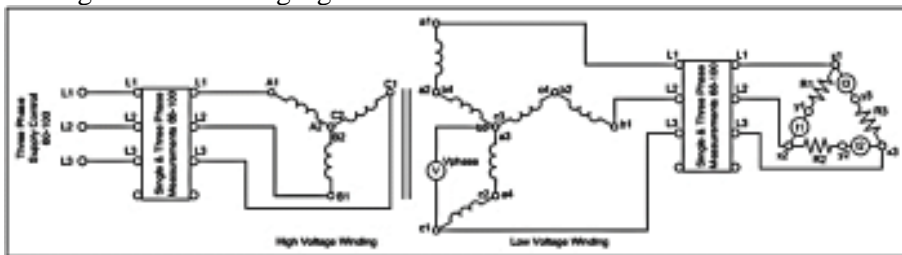
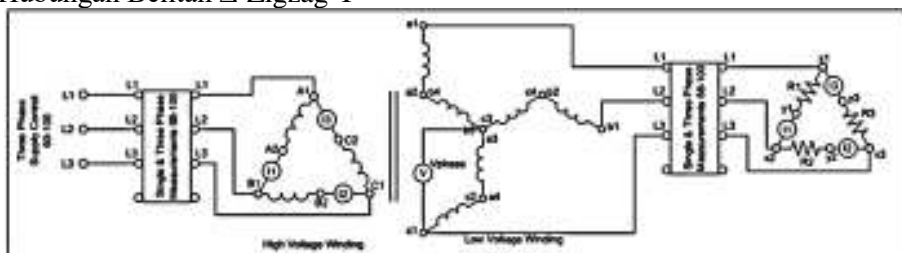
Gambar 3. 25 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Y

#### d. Hubungan Belitan Y- $\Delta$

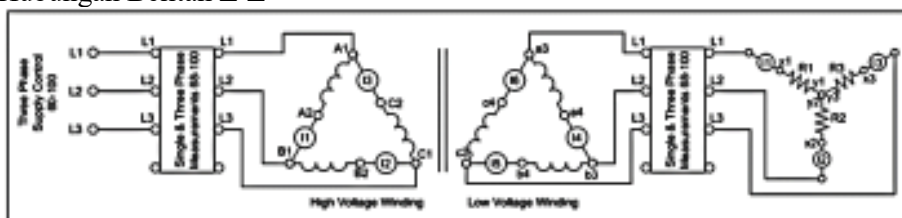


Gambar 3.26 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y- $\Delta$

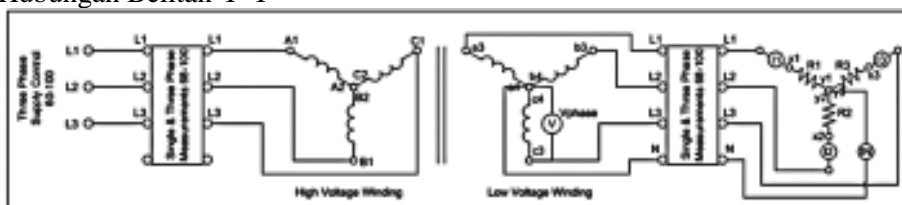
## e. Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Gambar 3.27 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Zigzag Yf. Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag YGambar 3.28 Rangkaian Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y

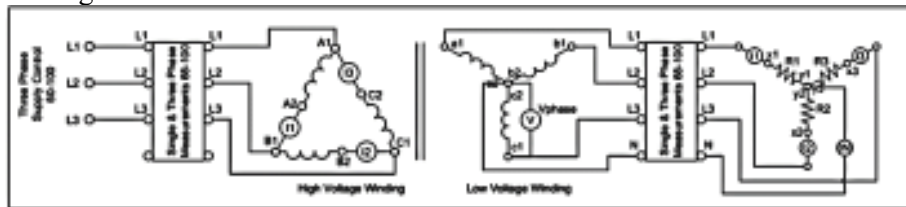
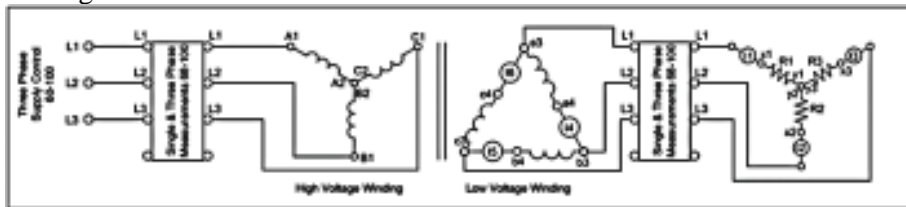
## 4. Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y

a. Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$ Gambar 3.29 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$ 

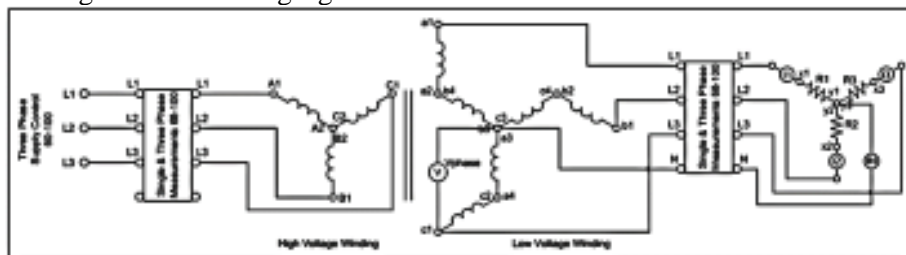
## b. Hubungan Belitan Y-Y



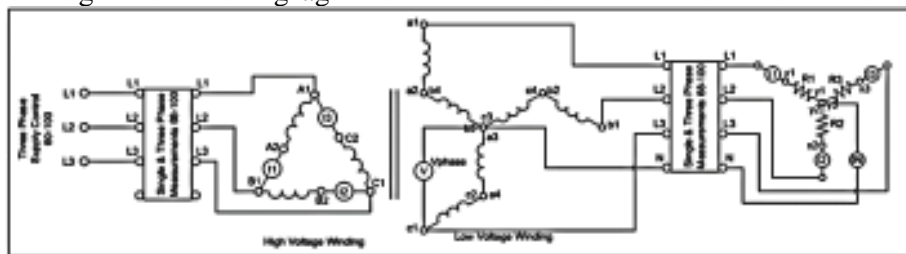
Gambar 3.30 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y

c. Hubungan Belitan  $\Delta$ -YGambar 3.31 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ -Yd. Hubungan Belitan Y- $\Delta$ Gambar 3.32 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$ 

## e. Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

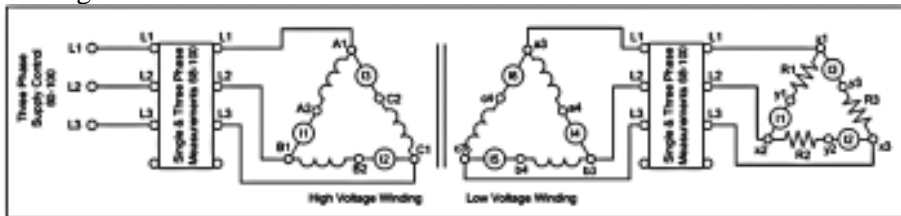


Gambar 3.33 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

f. Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag YGambar 3.34 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y

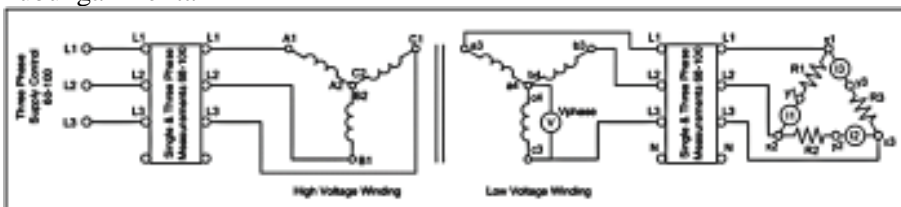
## 5. Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$

### a. Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$



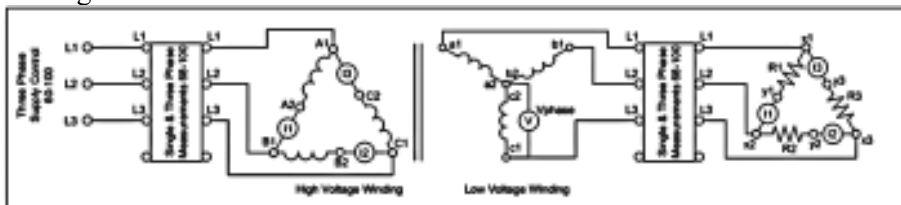
Gambar 3.35 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$

### b. Hubungan Belitan Y-Y



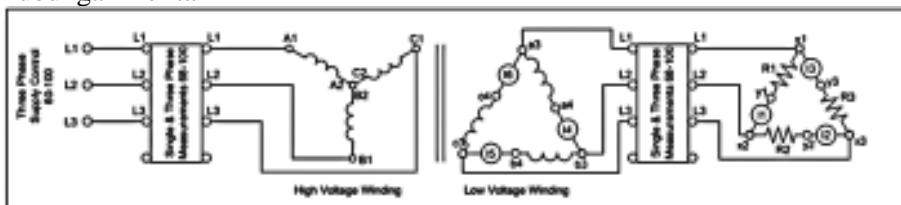
Gambar 3.36 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Y

### c. Hubungan Belitan $\Delta$ -Y



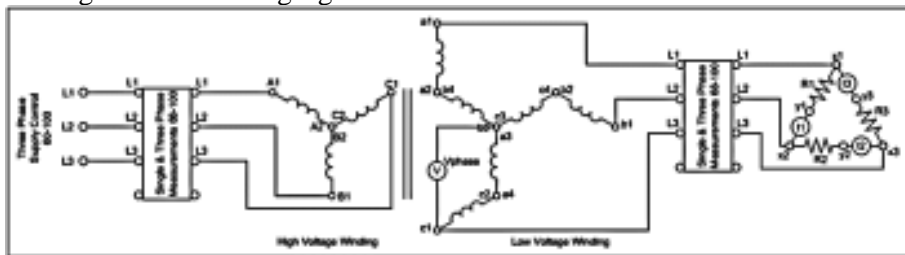
Gambar 3.37 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Y

### d. Hubungan Belitan Y- $\Delta$



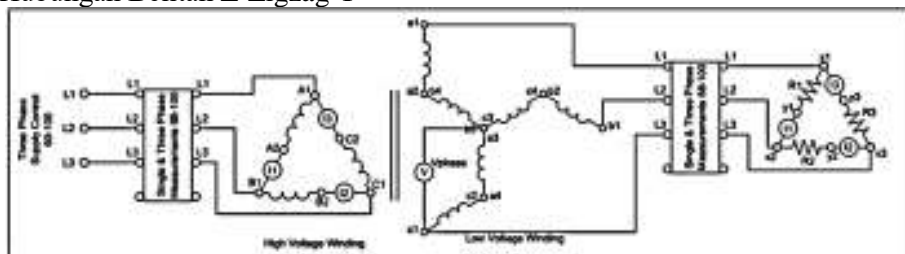
Gambar 3.38 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y- $\Delta$

e. Hubungan Belitan Y-Zigzag Y



Gambar 3.39 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

f. Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y



Gambar 3.40 Rangkaian Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y

Berikut prosedur percobaan yang dilakukan:

**1. Percobaan Tanpa Beban**

- Rangkai peralatan percobaan seperti Gambar 3.11 dimana pada sisi sekunder tidak dihubungkan dengan beban.
- Hidupkan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- Hidupkan three phase and single-phase circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100. Ketiga lampu neon akan menyala yang menunjukkan daya telah aktif.
- Baca tegangan line di sisi primer pada halaman awal Single & Three Phase Measurement 68-100. Catat tegangan line pada sisi primer ke dalam tabel data hasil percobaan tidak berbeban. Catat tegangan fasa pada sisi primer dengan menggunakan multimeter atau voltmeter. (Catatan untuk hubungan delta, tegangan fasa sama dengan tegangan line).
- Catat tegangan fasa dan tegangan line pada sisi sekunder ke dalam tabel data hasil percobaan tidak berbeban.
- Ulangi poin a-e untuk percobaan tanpa beban dengan rangkaian yang lainnya sesuai Gambar 3.12 – 3.16
- Percobaan selesai.

## 2. Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y

- a. Rangkai peralatan percobaan seperti Gambar 3.17 dimana pada sisi sekunder dihubungkan dengan beban yang seimbang. Beban tersebut terhubung secara Y.
- b. Hidupkan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- c. Hidupkan three phase and single-phase circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100. Ketiga lampu neon akan menyala yang menunjukkan daya telah aktif.
- d. Atur semua saklar resistensi pada ketiga Switch Resistance Load 67-140 ke posisi ON. Ini sesuai dengan beban resistansi total sebesar 122 ohm per fasa.
- e. Hidupkan ketiga Switch Resistance Load 67-140.
- f. Catat arus line dan arus fasa pada sisi primer, arus line dan arus fasa pada sisi sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100 atau baca pada ammeter).
- g. Catat tegangan line dan tegangan fasa pada sisi primer dan tegangan pada sisi sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100 atau baca pada voltmeter).
- h. Catat daya primer dan daya sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100).
- i. Catat faktor daya primer dan faktor daya sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100).
- j. Lengkapi tabel data hasil percobaan beban seimbang terhubung Y untuk semua nilai beban yang tertera sesuai tabel pengamatan.
- k. Matikan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- l. Ulangi poin a-k untuk percobaan beban seimbang terhubung Y dengan rangkaian yang lainnya sesuai Gambar 3.18 – 3.22
- m. Percobaan selesai.

## 3. Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$

- a. Rangkai peralatan percobaan seperti Gambar 3.23 dimana pada sisi sekunder dihubungkan dengan beban yang seimbang. Beban tersebut terhubung secara  $\Delta$ .
- b. Hidupkan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- c. Hidupkan three phase and single-phase circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100. Ketiga lampu neon akan menyala yang menunjukkan daya telah aktif.
- d. Atur semua saklar resistensi pada ketiga Switch Resistance Load 67-140 ke posisi ON. Ini sesuai dengan beban resistansi total sebesar 122 ohm per fasa.
- e. Hidupkan ketiga Switch Resistance Load 67-140.
- f. Catat arus line dan arus fasa pada sisi primer, arus line dan arus fasa pada sisi sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100 atau baca pada ammeter).



- g. Catat tegangan line dan tegangan fasa pada sisi primer dan tegangan pada sisi sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100 atau baca pada voltmeter).
- h. Catat daya primer dan daya sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100).
- i. Catat faktor daya primer dan faktor daya sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100).
- j. Lengkapi tabel data hasil percobaan beban seimbang terhubung  $\Delta$  untuk semua nilai beban yang tertera sesuai tabel pengamatan.
- k. Matikan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- l. Ulangi poin a-k untuk percobaan beban seimbang terhubung  $\Delta$  dengan rangkaian yang lainnya sesuai Gambar 3.24 – 3.28
- n. Percobaan selesai.

#### **4. Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y**

- a. Rangkai peralatan percobaan seperti Gambar 3.29 dimana pada sisi sekunder dihubungkan dengan beban yang tidak seimbang. Beban tersebut terhubung secara Y.
- b. Hidupkan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- c. Hidupkan three phase and single-phase circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100. Ketiga lampu neon akan menyala yang menunjukkan daya telah aktif.
- d. Atur saklar resistensi pada ketiga Switch Resistance Load 67-140 ke posisi ON dengan beban resistansi total yang berbeda per fasa. (Resistance Load 1 = 122  $\Omega$ , Resistance Load 2 = 122  $\Omega$ , Resistance Load 3 = 1000  $\Omega$ )
- e. Hidupkan ketiga Switch Resistance Load 67-140.
- f. Catat arus line dan arus fasa pada sisi primer, arus line dan arus fasa pada sisi sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100 atau baca pada ammeter).
- g. Catat tegangan line dan tegangan fasa pada sisi primer dan tegangan pada sisi sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100 atau baca pada voltmeter).
- h. Catat daya primer dan daya sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100).
- i. Catat faktor daya primer dan faktor daya sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100).
- j. Lengkapi tabel data hasil percobaan beban seimbang terhubung Y untuk semua nilai beban yang tertera sesuai tabel pengamatan.
- k. Matikan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- l. Ulangi poin a-k untuk percobaan beban tidak seimbang terhubung Y dengan rangkaian yang lainnya sesuai Gambar 3.30 – 3.34
- m. Percobaan selesai.

### 5. Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$

- Rangkai peralatan percobaan seperti Gambar 3.35 dimana pada sisi sekunder dihubungkan dengan beban yang tidak seimbang. Beban tersebut terhubung secara  $\Delta$ .
- Hidupkan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- Hidupkan three phase and single-phase circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100. Ketiga lampu neon akan menyala yang menunjukkan daya telah aktif.
- Atur saklar resistensi pada ketiga Switch Resistance Load 67-140 ke posisi ON dengan beban resistansi total yang berbeda per fasa. (Resistance Load 1 = 122  $\Omega$ , Resistance Load 2 = 122  $\Omega$ , Resistance Load 3 = 1000  $\Omega$ )
- Hidupkan ketiga Switch Resistance Load 67-140.
- Catat arus line dan arus fasa pada sisi primer, arus line dan arus fasa pada sisi sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100 atau baca pada ammeter).
- Catat tegangan line dan tegangan fasa pada sisi primer dan tegangan pada sisi sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100 atau baca pada voltmeter).
- Catat daya primer dan daya sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100).
- Catat faktor daya primer dan faktor daya sekunder (baca pada Three Phase Measurement 68-100).
- Lengkapi tabel data hasil percobaan beban tidak seimbang terhubung  $\Delta$  untuk semua nilai beban yang tertera sesuai tabel pengamatan.
- Matikan earth leakage circuit breaker pada Three Phase Supply Control 60-100.
- Ulangi poin a-k untuk percobaan beban tidak seimbang terhubung  $\Delta$  dengan rangkaian yang lainnya sesuai Gambar 3.36 – 3.40
- Percobaan selesai.

Untuk cara pengaturan Resistance Load dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Pengaturan Resistance Load

3900	2200	1000	470	230	Total Resistance ( $\Omega$ )
UP					3900
	UP				2200
UP	UP				1407
		UP			1000
UP		UP			796
	UP	UP			688
UP	UP	UP			584
			UP		470
UP			UP		419
	UP		UP		387
UP	UP		UP		352
		UP	UP		320
UP		UP	UP		296

	UP	UP	UP		279
UP	UP	UP	UP		260
				UP	230
UP				UP	217
	UP			UP	208
UP	UP			UP	198
		UP		UP	187
UP		UP		UP	178
	UP	UP		UP	172
UP	UP	UP		UP	165
			UP	UP	154
UP			UP	UP	149
	UP		UP	UP	144
UP	UP		UP	UP	139
		UP	UP	UP	134
UP		UP	UP	UP	129
	UP	UP	UP	UP	126
UP	UP	UP	UP	UP	122

### 3.3.4. Pengambilan Data

Data yang dibutuhkan dicari dengan melakukan pengukuran beberapa parameter yang diperlukan sesuai dengan variabel yang diamati untuk melakukan perhitungan dan menganalisa performa pada trafo tersebut jika dibebani beban seimbang dan beban tidak seimbang. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar kita dapat mengetahui karakter trafo 3 fasa secara praktikal bukan hanya secara teoritis saja.

### 3.4. Perhitungan Data dan Analisa Data

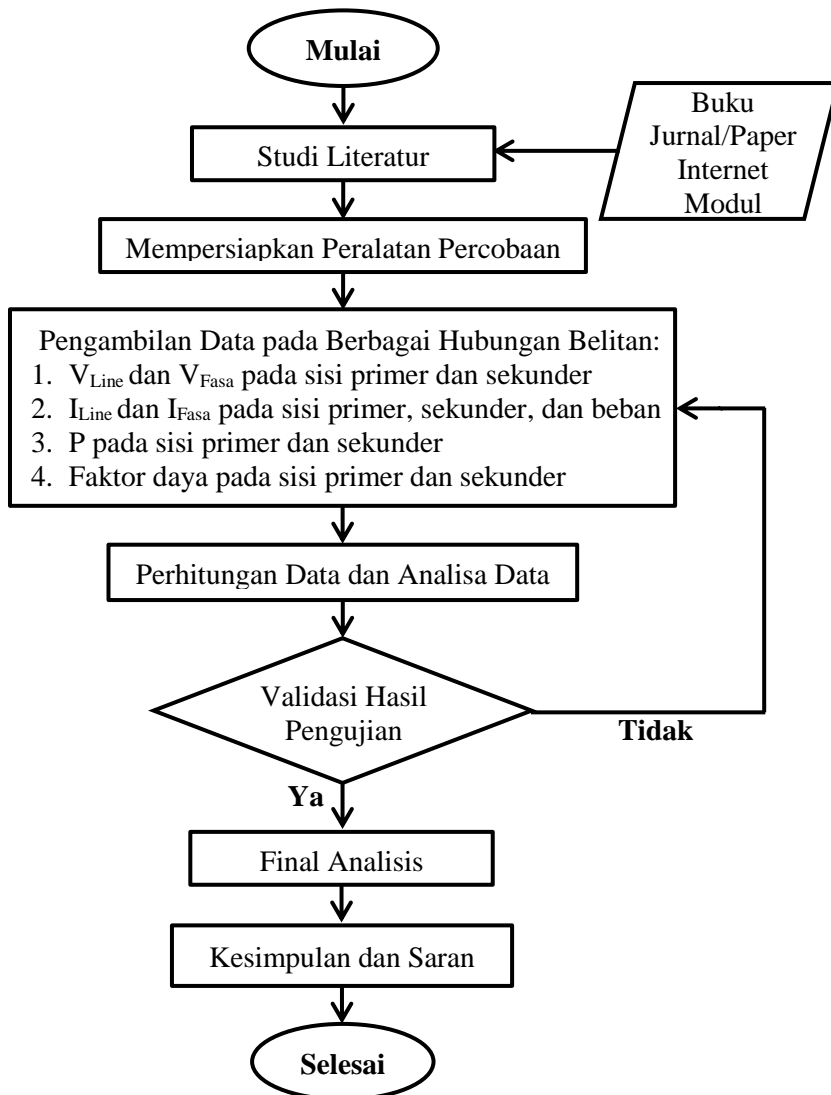
Perhitungan data dan analisa data dilakukan untuk mendapatkan seberapa besar performa dari transformator 3 phase yang dihubungkan beban seimbang dan beban tidak seimbang pada berbagai hubungan belitan dan nantinya akan dibuatkan grafik guna lebih mudah dalam pembacaannya.

### 3.5. Final Analisis

Final analisis dilakukan untuk mendapatkan rangkaian hubungan belitan terbaik yang memiliki nilai dari performa transformator 3 phase yang paling tinggi.

### 3.6. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman dari penulisan tugas akhir dan merupakan jawaban dari rumusan masalah yang telah disusun pada bab pertama dalam tugas akhir ini. Saran diberikan oleh penulis untuk menjadi rujukan tentang kendala-kendala yang terdapat dalam proses penulisan tugas akhir ini.

**Flow Chart Metodologi Penelitian**

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Transformator merupakan peralatan listrik yang sering digunakan untuk menyalurkan listrik dari generator hingga ke beban. Beban terdiri dari 2 yakni beban seimbang dan beban tidak seimbang. Untuk menghasilkan efisiensi yang baik, transformator harus dihubungkan beban yang seimbang. Namun pada kondisi yang nyata sering ditemui beban yang tidak seimbang. Hal ini menyebabkan rugi – rugi tembaga yang berubah – ubah akibat arus beban yang berubah – ubah.

Dalam bab ini akan dibahas pengaruh beban tidak seimbang terhadap performa dari transformator 3 phasa pada berbagai hubungan belitan. Untuk mengetahui pengaruh tersebut diperlukan beberapa percobaan yaitu:

1. Percobaan tanpa beban pada berbagai hubungan belitan transformator.
2. Percobaan beban seimbang terhubung Y dan  $\Delta$  pada berbagai hubungan belitan transformator.
3. Percobaan beban tidak seimbang terhubung Y dan  $\Delta$  pada berbagai hubungan belitan transformator.

Hubungan belitan transformator yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari hubungan  $\Delta$ - $\Delta$ , Y-Y,  $\Delta$ -Y, Y- $\Delta$ , Y-Zigzag Y, dan  $\Delta$ -Zigzag Y. Beban yang digunakan yakni beban resistif dimana beban tersebut dihubungkan Y dan  $\Delta$ . Beban dapat diatur nilai hambatannya dimana nilai terkecil dari beban resistif ini sebesar 122 ohm dan hambatan terbesar yakni 3900 ohm.

Pada percobaan beban seimbang dilakukan pengaturan ketiga beban resistif harus pada kondisi seimbang. Namun ketika percobaan beban tidak seimbang, ketiga beban resistif diatur agar memiliki nilai hambatan yang berbeda – beda sesuai dengan batas maksimum dari kemampuan beban tidak mengalami overheating. Jika arus yang masuk ke beban melebihi 2A maka beban akan mengalami overheating. Dari hasil data pengujian pada kondisi tanpa beban, beban seimbang dan beban tidak seimbang dilakukan perhitungan nilai ketidakseimbangan beban, efisiensi transformator dan regulasi tegangan pada tiap - tiap hubungan belitan kemudian dianalisa mana hubungan belitan yang memiliki nilai performa yang paling baik.

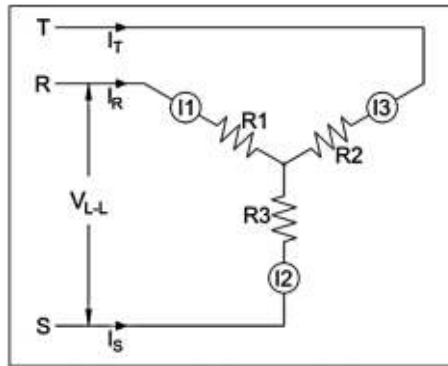
#### **4.1. Data Hasil Percobaan**

Percobaan penelitian transformator 3 phasa ini dilakukan pada tanggal 6 Maret 2017 sampai 3 Mei 2017 di Laboratorium Listrik Kapal dan Sistem Otomasi, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Data hasil percobaan dapat dilihat di lampiran.

#### **4.2. Perhitungan Data dan Analisa Data**

##### **4.2.1. Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y**

Berikut merupakan gambar beban terhubung secara star (Y):



Gambar 4.1 Beban Terhubung Star

#### a. Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung Y dengan hubungan belitan  $\Delta$ - $\Delta$  yang tertera dilampiran 1.1 dan 2.1 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \, \Omega + 122 \, \Omega + 122 \, \Omega = 366 \, \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 134 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 103 Watt
  - $V_{FL} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 112 \text{ Volt}$
  - $V_{NL} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 118 \text{ Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_R = I_1 = 0,53 \text{ A}$
  - $I_S = I_2 = 0,53 \text{ A}$
  - $I_T = I_3 = 0,53 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 134 - 103 = 31,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{103}{134} \times 100\% = 76,9 \%$$
- Regulasi Tegangan  

$$\text{VR} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% = \frac{118 - 112}{118} \times 100\% = 5,1 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta-\Delta$

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	(%)	(%)
122	122	122	366	0,53	0,53	0,53	112	118	134	103	31,0	76,9	5,1
230	230	230	690	0,28	0,28	0,28	113	118	84,1	54,8	29,3	65,2	4,2
387	387	387	1161	0,17	0,17	0,17	114	118	62,9	33,6	29,3	53,4	3,4
584	584	584	1752	0,11	0,11	0,11	114	118	51,8	21,7	30,1	41,9	3,4
796	796	796	2388	0,08	0,08	0,08	114	118	47,6	15,8	31,8	33,2	3,4

#### b. Hubungan Belitan Y-Y

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung Y hubungan belitan Y-Y yang tertera dilampiran 1.2 dan 2.2 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 122 \Omega = 366 \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 355 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 317 Watt
  - $V_{FL} = V_{\text{Line}}$  Sekunder berbeban = 197 Volt
  - $V_{NL} = V_{\text{Line}}$  Sekunder tanpa beban = 203 Volt
- Arus pada beban:
- $I_R = I_1 = 0,93 \text{ A}$
  - $I_S = I_2 = 0,93 \text{ A}$
  - $I_T = I_3 = 0,93 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 355 - 317 = 38,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{317}{355} \times 100\% = 89,3 \%$$
- Regulasi Tegangan  

$$\text{VR} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% = \frac{203 - 197}{203} \times 100\% = 3,0 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	(%)	(%)
122	122	122	366	0,93	0,93	0,93	197	203	355	317	38,0	89,3	3,0
230	230	230	690	0,49	0,49	0,49	198	203	203	167	36,0	82,3	2,5
387	387	387	1161	0,30	0,30	0,30	199	203	137	104	33,0	75,9	2,0

584	584	584	1752	0,20	0,20	0,20	200	203	102	67,5	34,5	66,2	1,5
796	796	796	2388	0,14	0,14	0,14	201	203	84,5	50,1	34,4	59,3	1,0

### c. Hubungan Belitan $\Delta$ -Y

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung Y hubungan belitan  $\Delta$ -Y yang tertera dilampiran 1.3 dan 2.3 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \, \Omega + 122 \, \Omega + 122 \, \Omega = 366 \, \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 339 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 304 Watt
  - $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 193 \text{ Volt}$
  - $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 199 \text{ Volt}$
- Arus pada beban:
- $I_R = I_1 = 0,91 \text{ A}$
  - $I_S = I_2 = 0,91 \text{ A}$
  - $I_T = I_3 = 0,91 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 339 - 304 = 35,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{304}{339} \times 100\% = 89,7 \%$$
- Regulasi Tegangan  

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{199 - 193}{199} \times 100\% = 3,0 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.3 berikut :

Tabel 4. 3 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ -Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	(%)	(%)
122	122	122	366	0,91	0,91	0,91	193	199	339	304	35,0	89,7	3,0
230	230	230	690	0,48	0,48	0,48	195	199	195	162	33,0	83,1	2,0
387	387	387	1161	0,30	0,30	0,30	196	199	133	102	31,0	76,7	1,5
584	584	584	1752	0,19	0,19	0,19	196	199	95,6	65,3	30,3	68,3	1,5
796	796	796	2388	0,14	0,14	0,14	197	199	78,7	48,1	30,6	61,1	1,0

### d. Hubungan Belitan Y - $\Delta$

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung Y hubungan belitan Y- $\Delta$  yang tertera dilampiran 1.4 dan 2.4 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 + 122 + 122 = 366 \, \Omega$



- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 140 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 105 Watt
- $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 114 \text{ Volt}$
- $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 117 \text{ Volt}$

Arus pada beban:

- $I_{\text{R}} = I_1 = 0,53 \text{ A}$
- $I_{\text{S}} = I_2 = 0,53 \text{ A}$
- $I_{\text{T}} = I_3 = 0,53 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 140 - 105 = 35,0 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{105}{140} \times 100\% = 75,0 \%$$

- Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{117 - 114}{117} \times 100\% = 2,6\%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.4 berikut :

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	(%)	(%)
122	122	122	366	0,53	0,53	0,53	114	117	140	105	35,0	75,0	2,6
230	230	230	690	0,28	0,28	0,28	115	117	90,5	56,2	34,3	62,1	1,7
387	387	387	1161	0,17	0,17	0,17	115	117	68,4	34,5	33,9	50,4	1,7
584	584	584	1752	0,11	0,11	0,11	116	117	57,2	22,5	34,7	39,3	0,9
796	796	796	2388	0,08	0,08	0,08	116	117	52,0	16,5	35,5	31,7	0,9

#### e. Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung Y hubungan belitan Y-Zigzag Y yang tertera dilampiran 1.5 dan 2.5 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_{\text{T}} = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 122 \Omega = 366 \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 930 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 839 Watt
  - $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 320 \text{ Volt}$
  - $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 349 \text{ Volt}$
- Arus pada beban:
- $I_{\text{R}} = I_1 = 1,51 \text{ A}$
  - $I_{\text{S}} = I_2 = 1,51 \text{ A}$
  - $I_{\text{T}} = I_3 = 1,51 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 930 - 839 = 91,0 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{839}{930} \times 100\% = 90,2 \%$$

- Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{349 - 320}{349} \times 100\% = 8,3\%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.5 berikut :

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	η	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
(Ω)	(Ω)	(Ω)	(Ω)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%
122	122	122	366	1,51	1,51	1,51	320	349	930	839	91,0	90,2	8,3
230	230	230	690	0,82	0,82	0,82	329	349	510	466	44,0	91,4	5,7
387	387	387	1161	0,51	0,51	0,51	334	349	329	293	36,0	89,1	4,3
584	584	584	1752	0,33	0,33	0,33	336	349	223	192	31,0	86,1	3,7
796	796	796	2388	0,24	0,24	0,24	338	349	173	142	31,0	82,1	3,2

#### f. Hubungan Belitan Δ-Zigzag Y

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung Y hubungan belitan Δ-Zigzag Y yang tertera dilampiran 1.6 dan 2.6 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 122 \Omega = 366 \Omega$
- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 917 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 831 Watt
- $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder}} \text{ berbeban} = 320 \text{ Volt}$
- $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder}} \text{ tanpa beban} = 350 \text{ Volt}$

Arus pada beban:

- $I_R = I_1 = 1,50 \text{ A}$
- $I_S = I_2 = 1,50 \text{ A}$
- $I_T = I_3 = 1,50 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 917 - 831 = 86,0 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{831}{917} \times 100\% = 90,6 \%$$

▪ Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{350 - 320}{350} \times 100\% = 8,6 \%$$

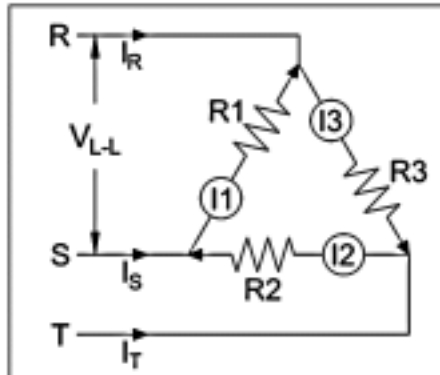
Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>	es	%	%
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%
122	122	122	366	1,50	1,50	1,50	320	350	917	831	86,0	90,6	8,6
230	230	230	690	0,82	0,82	0,82	328	350	499	463	36,0	92,8	6,3
387	387	387	1161	0,51	0,51	0,51	333	350	326	291	35,0	89,3	4,9
584	584	584	1752	0,33	0,33	0,33	335	350	223	192	31,0	86,1	4,3
796	796	796	2388	0,24	0,24	0,24	336	350	172	142	30,0	82,6	4,0

#### 4.2.2. Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$

Berikut merupakan gambar beban terhubung secara delta ( $\Delta$ ):



Gambar 4.2 Beban Terhubung Delta

##### a. Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan  $\Delta$ - $\Delta$  yang tertera dilampiran 1.1 dan 3.1 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \, \Omega + 122 \, \Omega + 122 \, \Omega = 366 \, \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 331 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 291 Watt
  - $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line}}$  Sekunder berbeban = 109 Volt
  - $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line}}$  Sekunder tanpa beban = 118 Volt
- Arus pada beban:
- $I_1 = 0,85 \, \text{A}$

- $I_2 = 0,85 \text{ A}$
- $I_3 = 0,85 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

▪ Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 331 - 291 = 40,0 \text{ Watt}$$

▪ Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{291}{331} \times 100\% = 87,9 \%$$

▪ Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{118 - 109}{118} \times 100\% = 7,6 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.7 berikut:

Tabel 4. 7 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta-\Delta$

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%
122	122	122	366	0,85	0,85	0,85	109	118	331	291	40,0	87,9	7,6
230	230	230	690	0,44	0,44	0,44	111	118	190	158	32,0	83,2	5,9
387	387	387	1161	0,26	0,26	0,26	111	118	129	98	31,0	76,0	5,9
584	584	584	1752	0,16	0,16	0,16	112	118	92,3	64	28,3	69,3	5,1
796	796	796	2388	0,12	0,12	0,12	112	118	78,2	46,6	31,6	59,6	5,1

**b. Hubungan Belitan Y-Y**

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan Y-Y yang tertera dilampiran 1.2 dan 3.2 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 122 \Omega = 366 \Omega$
- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 950 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 860 Watt
- $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line}}$  Sekunder berbeban = 188 Volt
- $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line}}$  Sekunder tanpa beban = 203 Volt

Arus pada beban :

- $I_1 = 1,48 \text{ A}$
- $I_2 = 1,48 \text{ A}$
- $I_3 = 1,48 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

▪ Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 950 - 860 = 90,0 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{860}{950} \times 100\% = 90,5 \%$$

- Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{203 - 188}{203} \times 100\% = 7,4 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.8 berikut:

Tabel 4. 8 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%
122	122	122	366	1,48	1,48	1,48	188	203	950	860	90,0	90,5	7,4
230	230	230	690	0,78	0,78	0,78	194	203	534	487	47,0	91,2	4,4
387	387	387	1161	0,48	0,48	0,48	195	203	339	301	38,0	88,8	3,9
584	584	584	1752	0,30	0,30	0,30	197	203	231	199	32,0	86,1	3,0
796	796	796	2388	0,22	0,22	0,22	198	203	179	147	32,0	82,1	2,5

### c. Hubungan Belitan $\Delta$ -Y

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan  $\Delta$ -Y yang tertera dilampiran 1.3 dan 3.3 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 122 \Omega = 366 \Omega$
- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 929 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 833 Watt
- $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line}}$  Sekunder berbeban = 185 Volt
- $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line}}$  Sekunder tanpa beban = 199 Volt
- Arus pada beban :
- $I_1 = 1,46 \text{ A}$
- $I_2 = 1,46 \text{ A}$
- $I_3 = 1,46 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 929 - 833 = 96,0 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{833}{929} \times 100\% = 89,7 \%$$

- Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{199 - 185}{199} \times 100\% = 7,0 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam table 4.9 berikut:

Tabel 4. 9 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%
122	122	122	366	1,46	1,46	1,46	185	199	929	833	96,0	89,7	7,0
230	230	230	690	0,77	0,77	0,77	191	199	517	466	51,0	90,1	4,0
387	387	387	1161	0,48	0,48	0,48	194	199	335	297	38,0	88,7	2,5
584	584	584	1752	0,30	0,30	0,30	196	199	228	196	32,0	86,0	1,5
796	796	796	2388	0,22	0,22	0,22	196	199	176	144	32,0	81,8	1,5

#### d. Hubungan Belitan Y - $\Delta$

Dari hasil percobaan pertama beban seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan Y- $\Delta$  yang tertera dilampiran 1.4 dan 3.4 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 122 \Omega = 366 \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 348 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 310 Watt
  - $V_{FL} = V_{\text{Line}}$  Sekunder berbeban = 113 Volt
  - $V_{NL} = V_{\text{Line}}$  Sekunder tanpa beban = 117 Volt
- Arus pada beban :
- $I_1 = 0,87 \text{ A}$
  - $I_2 = 0,87 \text{ A}$
  - $I_3 = 0,87 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 348 - 310 = 38,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{310}{348} \times 100\% = 89,1 \%$$
- Regulasi Tegangan  

$$\text{VR} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% = \frac{117 - 113}{117} \times 100\% = 3,4 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.10 berikut :



387	387	387	1161	0,80	0,80	0,80	322	349	887	808	79,0	91,1	7,7
584	584	584	1752	0,53	0,53	0,53	327	349	597	549	48,0	92,0	6,3
796	796	796	2388	0,38	0,38	0,38	330	349	453	410	43,0	90,5	5,4

#### f. Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y

Percobaan pertama dan kedua tidak dapat diambil data percobaannya karena terjadi overheating pada beban. Overheating ini terjadi karena arus yang mengalir ke beban melebihi batas maksimumnya. Batas maksimum arus yang mengalir ke beban sebesar 2 ampere. Dari percobaan ketiga beban seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan  $\Delta$ -Zigzag Y yang tertera dilampiran 1.6 dan 3.6 didapatkan beberapa data sebagai berikut:

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 126 \, \Omega + 126 \, \Omega + 126 \, \Omega = 378 \, \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 882 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 809 Watt
  - $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 320 \text{ Volt}$
  - $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 350 \text{ Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_1 = 0,80 \text{ A}$
  - $I_2 = 0,80 \text{ A}$
  - $I_3 = 0,80 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi dan regulasi tegangan sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 882 - 809 = 73,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{809}{882} \times 100\% = 91,7 \%$$
- Regulasi Tegangan  

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{350 - 320}{350} \times 100\% = 8,6 \%$$

Untuk percobaan keempat sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.12 berikut :

Tabel 4. 12 Hasil Analisa Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	$\eta$	VR
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>			
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%
122	122	122	366	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
230	230	230	690	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
387	387	387	1161	0,80	0,80	0,80	320	350	882	809	73,0	91,7	8,6
584	584	584	1752	0,52	0,52	0,52	327	350	594	548	46,0	92,3	6,6
796	796	796	2388	0,39	0,39	0,39	330	350	451	410	41,0	90,9	5,7



#### 4.2.3. Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y

##### a. Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Dari hasil percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung Y hubungan belitan  $\Delta$ - $\Delta$  yang tertera dilampiran 1.1 dan 4.1 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \, \Omega$ ,  $R_2 = 122 \, \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \, \Omega$
- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \, \Omega + 122 \, \Omega + 1000 \, \Omega = 1244 \, \Omega$
- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 92,1 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 61,1 Watt
- $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 114 \, \text{Volt}$
- $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 118 \, \text{Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_R = I_1 = 0,46 \, \text{A}$
- $I_S = I_2 = 0,46 \, \text{A}$
- $I_T = I_3 = 0,09 \, \text{A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

##### ▪ Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 92,1 - 61,1 = 31,0 \, \text{Watt}$$

##### ▪ Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{61,1}{92,1} \times 100\% = 66,3\%$$

##### ▪ Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{118 - 114}{118} \times 100\% = 3,4\%$$

##### ▪ Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang persamaan (2.81) didapatkan:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{0,46 + 0,46 + 0,09}{3} = 0,34 \, \text{A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{0,46}{0,34} = 1,36$$

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{0,46}{0,34} = 1,36$$

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{0,09}{0,34} = 0,27$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$\text{KB} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\text{KB} = \frac{\{|1,36 - 1| + |1,36 - 1| + |0,27 - 1|\}}{3} \times 100\% = 48,6 \, \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.13 berikut :

Tabel 4. 13 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>	es	(%)	(%)	(%)
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)			
122	122	1000	1244	0,46	0,46	0,09	114	118	92,1	61,1	31,0	66,3	3,4	48,6
230	230	1000	1460	0,25	0,25	0,09	115	118	67,7	38,4	29,3	56,7	2,5	36,6
387	387	1000	1774	0,15	0,15	0,08	115	118	55,6	25,9	29,7	46,6	2,5	24,6
584	584	1000	2168	0,10	0,10	0,08	115	118	50,5	18,8	31,7	37,2	2,5	13,0
796	796	1000	2592	0,08	0,08	0,07	115	118	49,0	15,1	33,9	30,8	2,5	5,0

#### b. Hubungan Belitan Y-Y

Dari hasil percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung Y hubungan belitan Y-Y yang tertera dilampiran 1.2 dan 4.2 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \Omega$ ,  $R_2 = 122 \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \Omega$
  - $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 1000 \Omega = 1244 \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 261 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 224 Watt
  - $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 199 \text{ Volt}$
  - $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 203 \text{ Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_R = I_1 = 0,92 \text{ A}$
  - $I_S = I_2 = 0,92 \text{ A}$
  - $I_T = I_3 = 0,12 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

#### ▪ Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 261 - 224 = 37,0 \text{ Watt}$$

#### ▪ Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{224}{261} \times 100\% = 85,8 \%$$

#### ▪ Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{203 - 199}{203} \times 100\% = 2,0 \%$$

#### ▪ Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{0,92 + 0,92 + 0,12}{3} = 0,65 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{0,92}{0,65} = 1,41$$

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{0,92}{0,65} = 1,41$$

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{0,12}{0,65} = 0,18$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$KB = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$KB = \frac{\{|1,41 - 1|+|1,41 - 1|+|0,18 - 1|\}}{3} \times 100\% = 54,4 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.14 berikut :

Tabel 4. 14 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	0,92	0,92	0,12	199	203	261	224	37,0	85,8	2,0	54,4
230	230	1000	1460	0,49	0,49	0,12	201	203	163	128	35,0	78,5	1,0	44,8
387	387	1000	1774	0,30	0,30	0,12	201	203	120	84,0	36,0	70,0	1,0	33,3

### c. Hubungan Belitan $\Delta$ -Y

Dari hasil percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung Y hubungan belitan  $\Delta$ -Y yang tertera dilampiran 1.3 dan 4.3 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \Omega$ ,  $R_2 = 122 \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \Omega$   
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 1000 \Omega = 1244 \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 250 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 214 Watt
  - $V_{FL} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 195 \text{ Volt}$
  - $V_{NL} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 199 \text{ Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_R = I_1 = 0,91 \text{ A}$
  - $I_S = I_2 = 0,91 \text{ A}$
  - $I_T = I_3 = 0,11 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 250 - 214 = 36,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{214}{250} \times 100\% = 85,6 \%$$

▪ **Regulasi Tegangan**

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% = \frac{199 - 195}{199} \times 100\% = 2,0 \%$$

▪ **Ketidakseimbangan Beban**

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{0,91 + 0,91 + 0,11}{3} = 0,64 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{0,91}{0,64} = 1,41$$

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{0,91}{0,64} = 1,41$$

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{0,11}{0,64} = 0,18$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$KB = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$KB = \frac{\{|1,41 - 1| + |1,41 - 1| + |0,18 - 1|\}}{3} \times 100\% = 55,0\%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.15 berikut :

Tabel 4. 15 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ -Y

Resistance Load				I <sub>phase Load</sub>			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	0,91	0,91	0,11	195	199	250	214	36,0	85,6	2,0	55,0
230	230	1000	1460	0,48	0,48	0,11	196	199	152	121	31,0	79,6	1,5	45,6
387	387	1000	1774	0,30	0,30	0,11	197	199	110	79,9	30,1	72,6	1,0	34,7
584	584	1000	2168	0,19	0,19	0,11	197	199	86,7	56,7	30,0	65,4	1,0	21,3
796	796	1000	2592	0,14	0,14	0,11	197	199	75,6	45,1	30,5	59,7	1,0	9,7

**d. Hubungan Belitan Y - $\Delta$**

Dari hasil percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung Y hubungan belitan Y- $\Delta$  yang tertera dilampiran 1.4 dan 4.4 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- R<sub>1</sub> = 122  $\Omega$ , R<sub>2</sub> = 122  $\Omega$ , R<sub>3</sub> = 1000  $\Omega$
  - R<sub>T</sub> = R<sub>1</sub> + R<sub>2</sub> + R<sub>3</sub> = 122  $\Omega$  + 122  $\Omega$  + 1000  $\Omega$  = 1244  $\Omega$
  - P<sub>Input</sub> (Daya Primer) = 89,0 Watt
  - P<sub>Output</sub> (Daya Sekunder) = 62,0 Watt
  - V<sub>FL</sub> = V<sub>Line Sekunder</sub> berbeban = 114 Volt
  - V<sub>NL</sub> = V<sub>Line Sekunder</sub> tanpa beban = 117 Volt
- Arus pada beban :

- $I_R = I_1 = 0,47 \text{ A}$
- $I_S = I_2 = 0,47 \text{ A}$
- $I_T = I_3 = 0,09 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

▪ Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 89,0 - 62,0 = 27,0 \text{ Watt}$$

▪ Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{62,0}{89,0} \times 100\% = 69,7 \%$$

▪ Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{117 - 114}{117} \times 100\% = 2,6 \%$$

▪ Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{0,47 + 0,47 + 0,09}{3} = 0,34 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{0,47}{0,34} = 1,36$$

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{0,47}{0,34} = 1,36$$

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{0,09}{0,34} = 0,27$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$\text{KB} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\text{KB} = \frac{\{|1,36 - 1| + |1,36 - 1| + |0,27 - 1|\}}{3} \times 100\% = 48,7 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.16 berikut :

Tabel 4. 16 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Δ

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	η	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
(Ω)	(Ω)	(Ω)	(Ω)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	0,47	0,47	0,09	114	117	89,0	62,0	27,0	69,7	2,6	48,7
230	230	1000	1460	0,25	0,25	0,09	115	117	66,2	36,5	29,7	55,1	1,7	36,7
387	387	1000	1774	0,16	0,16	0,08	115	117	54,2	25,5	28,7	47,0	1,7	24,4
584	584	1000	2168	0,10	0,10	0,08	116	117	50,7	18,7	32,0	36,9	0,9	13,1
796	796	1000	2592	0,08	0,08	0,07	116	117	48,5	15,2	33,3	31,3	0,9	5,2

### e. Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Dari hasil percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung Y hubungan belitan Y-Zigzag Y yang tertera dilampiran 1.5 dan 4.5 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \, \Omega$ ,  $R_2 = 122 \, \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \, \Omega$
- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \, \Omega + 122 \, \Omega + 1000 \, \Omega = 1244 \, \Omega$
- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 698 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 615 Watt
- $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 327 \text{ Volt}$
- $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 349 \text{ Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_R = I_1 = 1,53 \text{ A}$
- $I_S = I_2 = 1,53 \text{ A}$
- $I_T = I_3 = 0,20 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

▪ Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 698 - 615 = 83,0 \text{ Watt}$$

▪ Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{615}{698} \times 100\% = 88,1 \%$$

▪ Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{349 - 327}{349} \times 100\% = 6,3\%$$

▪ Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{1,53 + 1,53 + 0,20}{3} = 1,09 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{1,53}{1,09} = 1,41$$

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{1,53}{1,09} = 1,41$$

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{0,20}{1,09} = 0,18$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$\text{KB} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\text{KB} = \frac{\{|1,41 - 1|+|1,41 - 1|+|0,18 - 1|\}}{3} \times 100\% = 54,4 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.17 berikut :

Tabel 4. 17 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	1,53	1,53	0,20	327	349	698	615	83,0	88,1	6,3	54,4
230	230	1000	1460	0,82	0,82	0,20	333	349	405	354	51,0	87,4	4,6	44,9
387	387	1000	1774	0,50	0,50	0,20	336	349	271	233	38,0	86,0	3,7	33,3
584	584	1000	2168	0,33	0,33	0,20	338	349	197	167	30,0	84,8	3,2	20,2
796	796	1000	2592	0,24	0,24	0,20	338	349	164	134	30,0	81,7	3,2	7,8

#### f. Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y

Dari hasil percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung Y hubungan belitan  $\Delta$ -Zigzag Y yang tertera dilampiran 1.6 dan 4.6 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \Omega$ ,  $R_2 = 122 \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \Omega$
- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 1000 \Omega = 1244 \Omega$
- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 681 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 608 Watt
- $V_{FL} = V_{\text{Line}}$  Sekunder berbeban = 326 Volt
- $V_{NL} = V_{\text{Line}}$  Sekunder tanpa beban = 350 Volt
- Arus pada beban :
- $I_R = I_1 = 1,52 \text{ A}$
- $I_S = I_2 = 1,52 \text{ A}$
- $I_T = I_3 = 0,19 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 681 - 608 = 73,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{608}{681} \times 100\% = 89,3 \%$$
- Regulasi Tegangan  

$$\text{VR} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% = \frac{350 - 326}{350} \times 100\% = 6,9 \%$$

- Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{1,52 + 1,52 + 0,19}{3} = 1,08 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{1,52}{1,08} = 1,41$$

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{1,52}{1,08} = 1,41$$

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{0,19}{1,08} = 0,18$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$KB = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$KB = \frac{\{|1,41 - 1|+|1,41 - 1|+|0,18 - 1|\}}{3} \times 100\% = 54,9\%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.18 berikut :

Tabel 4. 18 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	1,52	1,52	0,19	326	350	681	608	73,0	89,3	6,9	54,9
230	230	1000	1460	0,82	0,82	0,19	332	350	398	351	47,0	88,2	5,1	45,9
387	387	1000	1774	0,51	0,51	0,19	335	350	266	234	32,0	88,0	4,3	35,3
584	584	1000	2168	0,33	0,33	0,19	336	350	197	165	32,0	83,8	4,0	22,0
796	796	1000	2592	0,24	0,24	0,19	337	350	161	130	31,0	80,7	3,7	10,0

#### 4.2.4. Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$

##### a. Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Dari hasil percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan  $\Delta$ - $\Delta$  yang tertera dilampiran 1.1 dan 5.1 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \Omega$ ,  $R_2 = 122 \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \Omega$
  - $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 1000 \Omega = 1244 \Omega$
  - $P_{Input}$  (Daya Primer) = 238 Watt
  - $P_{Output}$  (Daya Sekunder) = 205 Watt
  - $V_{FL} = V_{Line}$  Sekunder berbeban = 110 Volt
  - $V_{NL} = V_{Line}$  Sekunder tanpa beban = 118 Volt
- Arus pada beban :
- $I_1 = 0,85 \text{ A}$
  - $I_2 = 0,85 \text{ A}$
  - $I_3 = 0,08 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

##### ▪ Losses

$$\text{Losses} = P_{Input} - P_{Output} = 238 - 205 = 33,0 \text{ Watt}$$

##### ▪ Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} \times 100\% = \frac{205}{238} \times 100\% = 86,1 \%$$

##### ▪ Regulasi Tegangan



$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% = \frac{118 - 110}{118} \times 100\% = 6,8\%$$

▪ Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \frac{0,85 + 0,85 + 0,08}{3} = 0,59 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_1}{I} = \frac{0,85}{0,59} = 1,43$$

$$b = \frac{I_2}{I} = \frac{0,85}{0,59} = 1,43$$

$$c = \frac{I_3}{I} = \frac{0,08}{0,59} = 0,13$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$KB = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$KB = \frac{\{|1,43 - 1| + |1,43 - 1| + |0,13 - 1|\}}{3} \times 100\% = 57,7 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.19 berikut :

Tabel 4. 19 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ - $\Delta$

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	0,85	0,85	0,08	110	118	238	205	33,0	86,1	6,8	57,7
230	230	1000	1460	0,44	0,44	0,08	111	118	148	116	32,0	78,4	5,9	50,0
387	387	1000	1774	0,27	0,27	0,08	112	118	110	79,2	30,8	72,0	5,1	40,9
584	584	1000	2168	0,17	0,17	0,08	113	118	85,5	55,2	30,3	64,6	4,2	28,6
796	796	1000	2592	0,12	0,12	0,08	113	118	73,9	44,1	29,8	59,7	4,2	16,7

**b. Hubungan Belitan Y-Y**

Dari percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan Y-Y yang tertera dilampiran 1.2 dan 5.2 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \Omega$ ,  $R_2 = 122 \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \Omega$
  - $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 1000 \Omega = 1244 \Omega$
  - $P_{Input}$  (Daya Primer) = 704 Watt
  - $P_{Output}$  (Daya Sekunder) = 646 Watt
  - $V_{FL} = V_{Line}$  Sekunder berbeban = 190 Volt
  - $V_{NL} = V_{Line}$  Sekunder tanpa beban = 203 Volt
- Arus pada beban :
- $I_1 = 1,47 \text{ A}$
  - $I_2 = 1,47 \text{ A}$

- $I_3 = 0,16 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

- Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 704 - 646 = 58,0 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{646}{704} \times 100\% = 91,8 \%$$

- Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{203 - 190}{203} \times 100\% = 6,4 \%$$

- Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \frac{1,47 + 1,47 + 0,16}{3} = 1,03 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_1}{I} = \frac{1,47}{1,03} = 1,42$$

$$b = \frac{I_2}{I} = \frac{1,47}{1,03} = 1,42$$

$$c = \frac{I_3}{I} = \frac{0,16}{1,03} = 0,15$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$\text{KB} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\text{KB} = \frac{\{|1,42 - 1| + |1,42 - 1| + |0,15 - 1|\}}{3} \times 100\% = 56,3 \%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.20 berikut :

Tabel 4. 20 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	1,47	1,47	0,16	190	203	704	646	58,0	91,8	6,4	56,3
230	230	1000	1460	0,78	0,78	0,16	194	203	409	370	39,0	90,5	4,4	48,1
387	387	1000	1774	0,48	0,48	0,16	196	203	282	245	37,0	86,9	3,4	38,1
584	584	1000	2168	0,30	0,30	0,16	197	203	202	173	29,0	85,6	3,0	24,6
796	796	1000	2592	0,22	0,22	0,16	198	203	168	138	30,0	82,1	2,5	13,3

### c. Hubungan Belitan $\Delta$ -Y

Dari percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan  $\Delta$ -Y yang tertera dilampiran 1.3 dan 5.3 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \, \Omega$ ,  $R_2 = 122 \, \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \, \Omega$
- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \, \Omega + 122 \, \Omega + 1000 \, \Omega = 1244 \, \Omega$
- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 700 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 643 Watt
- $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 189 \, \text{Volt}$
- $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 199 \, \text{Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_1 = 1,46 \, \text{A}$
- $I_2 = 1,46 \, \text{A}$
- $I_3 = 0,16 \, \text{A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

▪ Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 700 - 643 = 57,0 \, \text{Watt}$$

▪ Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{643}{700} \times 100\% = 91,9 \, \%$$

▪ Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{199 - 189}{199} \times 100\% = 5,0\%$$

▪ Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \frac{1,46 + 1,46 + 0,16}{3} = 1,03 \, \text{A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_1}{I} = \frac{1,46}{1,03} = 1,42$$

$$b = \frac{I_2}{I} = \frac{1,46}{1,03} = 1,42$$

$$c = \frac{I_3}{I} = \frac{0,16}{1,03} = 0,16$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$\text{KB} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\text{KB} = \frac{\{|1,42 - 1| + |1,42 - 1| + |0,16 - 1|\}}{3} \times 100\% = 56,3\%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.21 berikut :

Tabel 4. 21 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				

( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	1,46	1,46	0,16	189	199	700	643	57,0	91,9	5,0	56,3
230	230	1000	1460	0,76	0,76	0,16	194	199	414	373	41,0	90,1	2,5	47,6
387	387	1000	1774	0,47	0,47	0,16	195	199	276	242	34,0	87,7	2,0	37,6
584	584	1000	2168	0,30	0,30	0,16	196	199	203	171	32,0	84,2	1,5	24,6
796	796	1000	2592	0,21	0,21	0,16	196	199	165	135	30,0	81,8	1,5	11,5

#### d. Hubungan Belitan Y - $\Delta$

Dari percobaan pertama beban tidak seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan Y- $\Delta$  yang tertera dilampiran 1.4 dan 5.4 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 122 \Omega$ ,  $R_2 = 122 \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \Omega$
  - $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 122 \Omega + 122 \Omega + 1000 \Omega = 1244 \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 258 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 221 Watt
  - $V_{\text{FL}} = V_{\text{Line Sekunder}} \text{ berbeban} = 114 \text{ Volt}$
  - $V_{\text{NL}} = V_{\text{Line Sekunder}} \text{ tanpa beban} = 117 \text{ Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_1 = 0,88 \text{ A}$
  - $I_2 = 0,88 \text{ A}$
  - $I_3 = 0,08 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 258 - 221 = 37,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{221}{258} \times 100\% = 85,7\%$$
- Regulasi Tegangan  

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{117 - 114}{117} \times 100\% = 2,6\%$$
- Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \frac{0,88 + 0,88 + 0,08}{3} = 0,61 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_1}{I} = \frac{0,88}{0,61} = 1,43$$

$$b = \frac{I_2}{I} = \frac{0,88}{0,61} = 1,43$$

$$c = \frac{I_3}{I} = \frac{0,08}{0,61} = 0,13$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$\text{KB} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$KB = \frac{\{|1,43 - 1| + |1,43 - 1| + |0,13 - 1|\}}{3} \times 100\% = 58,0\%$$

Untuk percobaan kedua sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel berikut :

Tabel 4. 22 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y- $\Delta$

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	0,88	0,88	0,08	114	117	258	221	37,0	85,7	2,6	58,0
230	230	1000	1460	0,45	0,45	0,08	115	117	158	125	33,0	79,1	1,7	50,3
387	387	1000	1774	0,27	0,27	0,08	116	117	114	82,7	31,3	72,5	0,9	40,9
584	584	1000	2168	0,17	0,17	0,09	116	117	90,7	58,7	32,0	64,7	0,9	24,8
796	796	1000	2592	0,12	0,12	0,09	116	117	79,7	46,7	33,0	58,6	0,9	12,1

#### e. Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Percobaan pertama tidak dapat diambil data percobaannya karena terjadi overheating pada beban. Overheating ini terjadi karena arus yang mengalir ke beban melebihi batas maksimumnya. Batas maksimum arus yang mengalir ke beban sebesar 2 ampere. Dari percobaan kedua beban tidak seimbang terhubung delta hubungan belitan Y-Zigzag Y yang tertera dilampiran 1.5 dan 5.5 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 230 \Omega$ ,  $R_2 = 230 \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \Omega$
  - $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 230 \Omega + 230 \Omega + 1000 \Omega = 1460 \Omega$
  - $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 1130 Watt
  - $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 1040 Watt
  - $V_{FL} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 327 \text{ Volt}$
  - $V_{NL} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 349 \text{ Volt}$
- Arus pada beban :
- $I_1 = 1,33 \text{ A}$
  - $I_2 = 1,33 \text{ A}$
  - $I_3 = 0,31 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

- Losses  
 $\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 1130 - 1040 = 90,0 \text{ Watt}$
- Efisiensi Transformator  
 $\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{1040}{1130} \times 100\% = 92,0\%$
- Regulasi Tegangan  
 $\text{VR} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\% = \frac{349 - 327}{349} \times 100\% = 6,3\%$
- Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \frac{1,33 + 1,33 + 0,31}{3} = 0,99 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_1}{I} = \frac{1,33}{0,99} = 1,34$$

$$b = \frac{I_2}{I} = \frac{1,33}{0,99} = 1,34$$

$$c = \frac{I_3}{I} = \frac{0,31}{0,99} = 0,31$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$KB = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$KB = \frac{\{|1,34 - 1| + |1,34 - 1| + |0,31 - 1|\}}{3} \times 100\% = 45,8\%$$

Untuk percobaan ketiga sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam 4.23 tabel berikut :

Tabel 4. 23 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Loss es	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
230	230	1000	1460	1,33	1,33	0,31	327	349	1130	1040	90,0	92,0	6,3	45,8
387	387	1000	1774	0,82	0,82	0,31	334	349	760	713	47,0	93,8	4,3	34,9
584	584	1000	2168	0,53	0,53	0,31	339	349	550	510	40,0	92,7	2,9	21,4
796	796	1000	2592	0,39	0,39	0,31	341	349	452	411	41,0	90,9	2,3	9,8

#### f. Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y

Percobaan pertama dan kedua tidak dapat diambil data percobaannya karena terjadi overheating pada beban. Overheating ini terjadi karena arus yang mengalir ke beban melebihi batas maksimumnya. Batas maksimum arus yang mengalir ke beban sebesar 2 ampere. Dari percobaan ketiga beban tidak seimbang terhubung  $\Delta$  hubungan belitan  $\Delta$ -Zigzag Y yang tertera dilampiran 1.6 dan 5.6 didapatkan beberapa data sebagai berikut :

- $R_1 = 387 \Omega$ ,  $R_2 = 387 \Omega$ ,  $R_3 = 1000 \Omega$
- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 387 \Omega + 387 \Omega + 1000 \Omega = 1774 \Omega$
- $P_{\text{Input}}$  (Daya Primer) = 740 Watt
- $P_{\text{Output}}$  (Daya Sekunder) = 679 Watt
- $V_{FL} = V_{\text{Line Sekunder berbeban}} = 325 \text{ Volt}$
- $V_{NL} = V_{\text{Line Sekunder tanpa beban}} = 350 \text{ Volt}$

Arus pada beban :

- $I_1 = 0,79 \text{ A}$
- $I_2 = 0,79 \text{ A}$

- $I_3 = 0,30 \text{ A}$

Dari data di atas dihitung losses, nilai efisiensi, regulasi tegangan, dan ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

- Losses

$$\text{Losses} = P_{\text{Input}} - P_{\text{Output}} = 740 - 679 = 61,0 \text{ Watt}$$

- Efisiensi Transformator

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{\text{Output}}}{P_{\text{Input}}} \times 100\% = \frac{679}{740} \times 100\% = 91,8 \%$$

- Regulasi Tegangan

$$\text{VR} = \frac{V_{\text{NL}} - V_{\text{FL}}}{V_{\text{NL}}} \times 100\% = \frac{350 - 325}{350} \times 100\% = 7,1\%$$

- Ketidakseimbangan Beban

Dari data hasil percobaan dicari arus rata-rata pada beban tidak seimbang:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \frac{0,79 + 0,79 + 0,30}{3} = 0,63 \text{ A}$$

Selanjutnya di cari koefisien a, b, dan c sebagai berikut :

$$a = \frac{I_1}{I} = \frac{0,79}{0,63} = 1,26$$

$$b = \frac{I_2}{I} = \frac{0,79}{0,63} = 1,26$$

$$c = \frac{I_3}{I} = \frac{0,30}{0,63} = 0,48$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) sebagai berikut :

$$\text{KB} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\text{KB} = \frac{\{|1,26 - 1| + |1,26 - 1| + |0,48 - 1|\}}{3} \times 100\% = 34,8\%$$

Untuk percobaan keempat sampai dengan kelima dapat dicari dengan cara yang sama seperti di atas dan hasilnya dapat dilihat di dalam tabel 4.24 berikut :

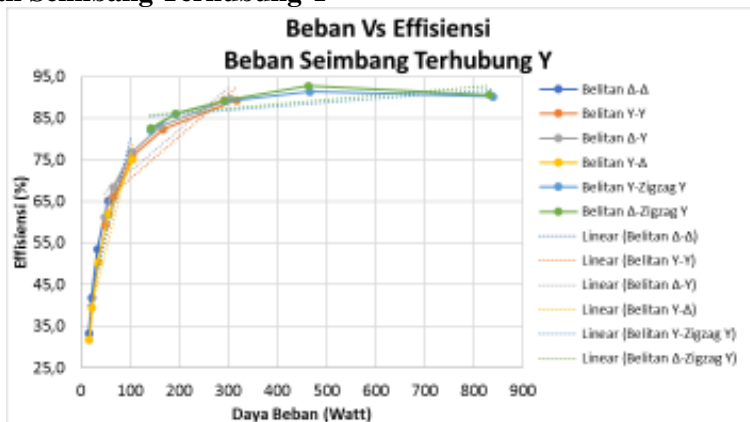
Tabel 4. 24 Hasil Analisa Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y

Resistance Load				I <sub>phase</sub> Load			V <sub>Line</sub>		Daya		Losses	$\eta$	VR	KB
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>T</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	V <sub>FL</sub>	V <sub>NL</sub>	P <sub>IN</sub>	P <sub>OUT</sub>				
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(W)	(W)	(W)	%	%	%
122	122	1000	1244	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
230	230	1000	1460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
387	387	1000	1774	0,79	0,79	0,30	325	350	740	679	61,0	91,8	7,1	34,8
584	584	1000	2168	0,53	0,53	0,30	330	350	534	487	47,0	91,2	5,7	22,5
796	796	1000	2592	0,38	0,38	0,30	332	350	428	388	40,0	90,7	5,1	10,1

### 4.3. Analisa Grafik

#### 4.3.1. Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi

##### 1. Beban Seimbang Terhubung Y

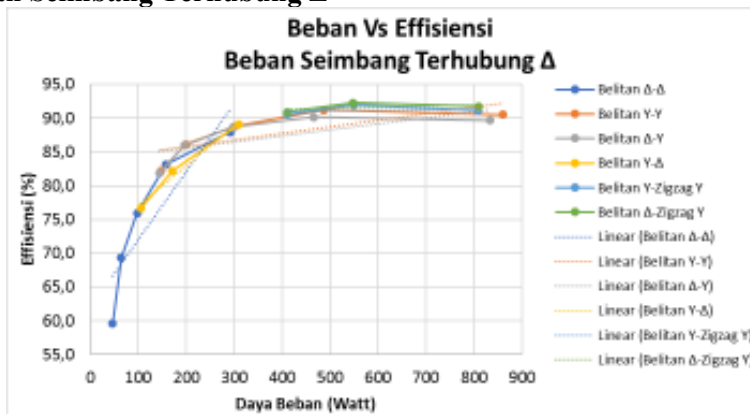


Gambar 4.3 Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Pada Beban Seimbang Terhubung Y

Pada Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban seimbang transformator 3 fasa terhubung Y maka efisiensinya akan semakin meningkat hingga batas maksimum efisiensi tertinggi dicapai, kemudian efisiensi mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan teori pada Gambar 2.30 yang tertera di tinjauan pustaka tentang variasi efisiensi terhadap faktor daya beban dimana efisiensi pada tiap faktor daya beban mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya daya beban hingga kurang lebih 65% dari beban penuh yang mampu disalurkan transformator. Di atas 65% dari beban penuh, efisiensi mengalami penurunan.

Pada beban yang sama, efisiensi tertinggi diperoleh ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Zigzag Y yakni sebesar 92,8 %. Efisiensi terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  yakni sebesar 31,7 %.

##### 2. Beban Seimbang Terhubung $\Delta$



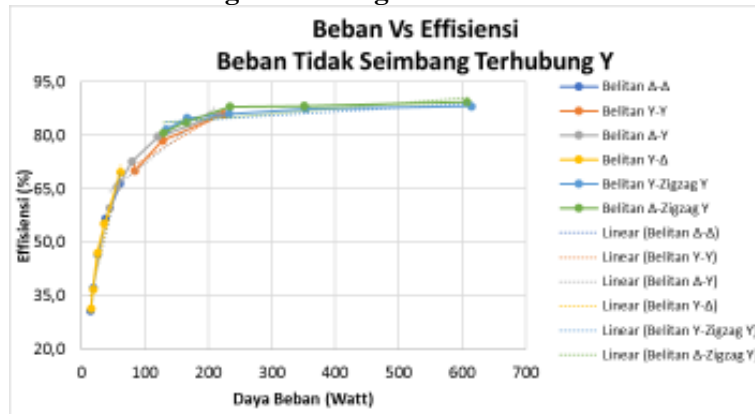
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Pada Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$



Pada Gambar 4.4 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban seimbang transformator 3 fasa terhubung  $\Delta$  maka efisiensinya akan semakin meningkat hingga batas maksimum efisiensi tertinggi dicapai, kemudian efisiensi mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan teori pada Gambar 2.30 yang tertera di tinjauan pustaka tentang variasi efisiensi terhadap faktor daya beban dimana efisiensi pada tiap faktor daya beban mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya daya beban hingga kurang lebih 65% dari beban penuh yang mampu disalurkan transformator. Di atas 65% dari beban penuh, efisiensi mengalami penurunan.

Pada beban yang sama, efisiensi tertinggi diperoleh ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Zigzag Y yakni sebesar 92,3 %. Efisiensi terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ - $\Delta$  yakni sebesar 59,6 %. Pada hubungan belitan  $\Delta$ -Zigzag Y dan Y-Zigzag Y terjadi overheating pada beban. Hal ini terjadi ketika beban 3 fasa diatur sebesar 366  $\Omega$  dan 690  $\Omega$ . Overheating tersebut disebabkan karena arus yang mengalir ke beban melebihi batas maksimum dari kemampuan beban dialiri arus. Besar batas maksimum beban per fasa dialiri arus yakni sebesar 2A.

### 3. Beban Tidak Seimbang Terhubung Y



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung Y

Pada Gambar 4.5 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban tidak seimbang transformator 3 fasa terhubung Y maka efisiensinya akan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan teori pada Gambar 2.30 yang tertera di tinjauan pustaka tentang variasi efisiensi terhadap faktor daya beban dimana efisiensi pada tiap faktor daya beban mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya daya beban hingga kurang lebih 65% dari beban penuh yang mampu disalurkan transformator. Di atas 65% dari beban penuh, efisiensi mengalami penurunan.

Pada grafik di atas efisiensi tidak mengalami penurunan dikarenakan daya beban pada berbagai jenis hubungan belitan transformator tidak melebihi 65% dari beban penuh. Pada beban yang sama, efisiensi tertinggi diperoleh ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Zigzag Y yakni sebesar 89,3 %. Efisiensi terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ - $\Delta$  yakni sebesar 30,8 %.

#### 4. Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$

Pada Gambar 4.6 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban tidak seimbang transformator 3 fasa terhubung  $\Delta$  maka efisiensinya akan semakin meningkat hingga batas maksimum efisiensi tertinggi dicapai, kemudian efisiensi mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan teori pada Gambar 2.30 yang tertera di tinjauan pustaka tentang variasi efisiensi terhadap faktor daya beban dimana efisiensi pada tiap faktor daya beban mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya daya beban hingga kurang lebih 65% dari beban penuh yang mampu disalurkan transformator. Di atas 65% dari beban penuh, efisiensi mengalami penurunan.

Pada beban yang sama, efisiensi tertinggi diperoleh ketika belitan transformator terhubung Y-Zigzag Y yakni sebesar 93,8 %. Efisiensi terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  yakni sebesar 58,6 %. Pada hubungan belitan  $\Delta$ -Zigzag Y dan Y-Zigzag Y terjadi overheating pada beban. Hal ini terjadi ketika beban 3 fasa diatur pada belitan  $\Delta$ -Zigzag Y sebesar 1244  $\Omega$  dan 1460  $\Omega$  dan pada belitan Y-Zigzag Y diatur sebesar 1244  $\Omega$ . Overheating tersebut disebabkan karena arus yang mengalir ke beban melebihi batas maksimum dari kemampuan beban dialiri arus. Besar batas maksimum beban per fasa dialiri arus yakni sebesar 2A.

#### 4.3.2. Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan

##### 1. Beban Seimbang Terhubung Y



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan Pada Beban Seimbang Terhubung Y

Pada Gambar 4.7 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban seimbang transformator 3 fasa terhubung Y maka regulasi tegangan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena penurunan tegangan sekunder pada daya beban yang besar lebih besar dari pada daya beban yang kecil atau dengan kata lain semakin daya beban naik maka semakin turun tegangan (drop voltage) sekundernya. Regulasi tegangan digunakan untuk mengetahui perubahan tegangan sekunder pada transformator antara tanpa beban dengan beban penuh. Regulasi tegangan yang besar mengakibatkan transformator menjadi panas sehingga Standard IEC membatasi batas maksimum regulasi tegangan sebesar 5%.

Pada beban yang sama, regulasi tegangan tertinggi terjadi ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Zigzag Y yakni sebesar 8,6 %. Regulasi tegangan terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  yakni sebesar 0,9 %. Regulasi tegangan yang tidak memenuhi standard IEC yaitu:

- Belitan  $\Delta$ - $\Delta$  ketika beban resistif sebesar 366  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 5,1%.
- Belitan Y-Zigzag Y ketika beban resistif sebesar 366  $\Omega$  dan 690  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 5,7% dan 8,3%.
- Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y ketika beban resistif sebesar 366  $\Omega$  dan 690  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 6,3% dan 8,6%.

## 2. Beban Seimbang Terhubung $\Delta$



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan Pada Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$

Pada Gambar 4.8 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban seimbang transformator 3 fasa terhubung  $\Delta$  maka regulasi tegangan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena penurunan tegangan sekunder pada daya beban yang besar lebih besar dari pada daya beban yang kecil atau dengan kata lain semakin daya beban naik maka semakin turun tegangan sekundernya. Regulasi tegangan digunakan untuk mengetahui perubahan tegangan sekunder pada transformator antara tanpa beban dengan beban penuh. Regulasi tegangan yang besar mengakibatkan transformator menjadi panas sehingga Standard IEC membatasi batas maksimum regulasi tegangan sebesar 5%.

Pada beban yang sama, regulasi tegangan tertinggi terjadi ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Zigzag Y yakni sebesar 8,6%. Regulasi tegangan terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Y yakni sebesar 1,5%. Regulasi tegangan yang tidak memenuhi standard IEC yaitu:

- Belitan  $\Delta-\Delta$  ketika beban resistif sebesar 366  $\Omega$  hingga 2388  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 7,6% hingga 5,1%.
- Belitan Y-Y ketika beban resistif sebesar 366  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 7,4%.
- Belitan  $\Delta-Y$  ketika beban resistif sebesar 366  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 7,0%.
- Belitan Y-Zigzag Y ketika beban resistif sebesar 1161  $\Omega$  dan 2388  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 7,7% dan 5,4%.
- Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y ketika beban resistif sebesar 1161  $\Omega$  dan 2388  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 8,6% dan 5,7%.

### 3. Beban Tidak Seimbang Terhubung Y



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung Y

Pada Gambar 4.9 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban tidak seimbang transformator 3 fasa terhubung Y maka regulasi tegangan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena penurunan tegangan sekunder pada daya beban yang besar lebih besar dari pada daya beban yang kecil atau dengan kata lain semakin daya beban naik maka semakin turun tegangan sekundernya. Regulasi tegangan digunakan untuk mengetahui perubahan tegangan sekunder pada transformator antara tanpa beban dengan beban penuh. Regulasi tegangan yang besar mengakibatkan transformator menjadi panas sehingga Standard IEC membatasi batas maksimum regulasi tegangan sebesar 5%.

Pada beban yang sama, regulasi tegangan tertinggi terjadi ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Zigzag Y yakni sebesar 6,9%. Regulasi tegangan terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  yakni sebesar 0,9%. Regulasi tegangan yang tidak memenuhi standard IEC yaitu:

- Belitan Y-Zigzag Y ketika beban resistif sebesar 1244  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 6,3%.
- Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y ketika beban resistif sebesar 1244  $\Omega$  dan 1460  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 6,9% dan 5,1%.

#### 4. Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Beban Terhadap Regulasi Tegangan Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$

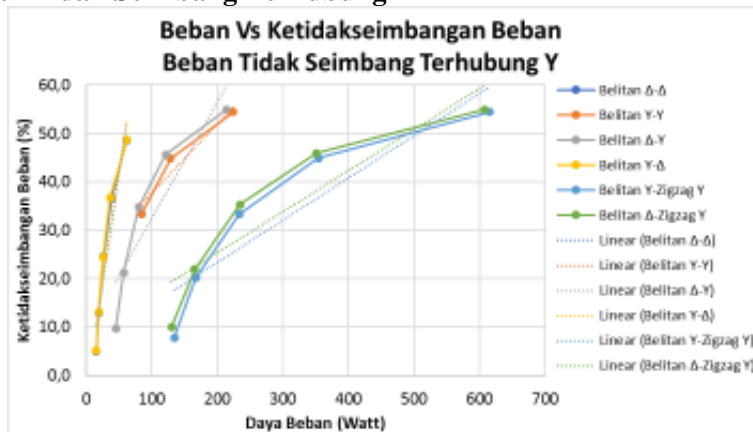
Pada Gambar 4.10 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban tidak seimbang transformator 3 fasa terhubung  $\Delta$  maka regulasi tegangan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena penurunan tegangan sekunder pada daya beban yang besar lebih besar dari pada daya beban yang kecil atau dengan kata lain semakin daya beban naik maka semakin turun tegangan sekundernya. Regulasi tegangan digunakan untuk mengetahui perubahan tegangan sekunder pada transformator antara tanpa beban dengan beban penuh. Regulasi tegangan yang besar mengakibatkan transformator menjadi panas sehingga Standard IEC membatasi batas maksimum regulasi tegangan sebesar 5%.

Pada beban yang sama, regulasi tegangan tertinggi terjadi ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Zigzag Y yakni sebesar 7,1%. Regulasi tegangan terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  yakni sebesar 0,9%. Regulasi tegangan yang tidak memenuhi standard IEC yaitu:

- Belitan  $\Delta$ - $\Delta$  ketika beban resistif sebesar 1244  $\Omega$  hingga 1774  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 6,8% hingga 5,1%.
- Belitan Y-Y ketika beban resistif sebesar 1244  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 6,4%.
- Belitan Y-Zigzag Y ketika beban resistif sebesar 1460  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 6,3%.
- Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y ketika beban resistif sebesar 1774  $\Omega$  dan 2592  $\Omega$  dengan regulasi tegangan sebesar 7,1% dan 5,1%.

### 4.3.3. Grafik Hubungan Beban Terhadap Ketidakseimbangan Beban

#### 1. Beban Tidak Seimbang Terhubung Y

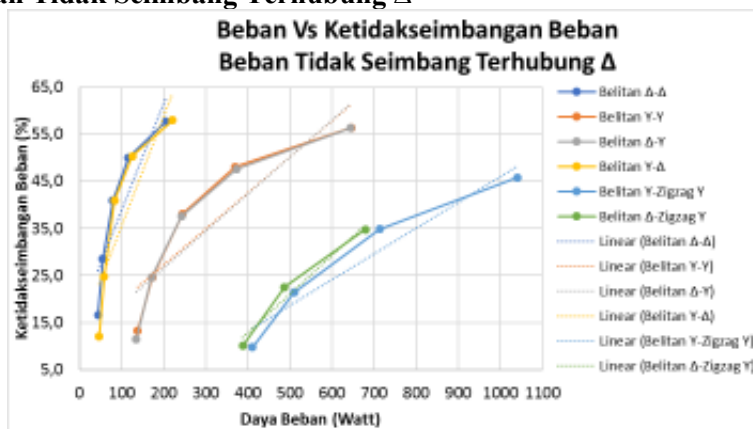


Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Beban Terhadap Ketidakseimbangan Beban Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung Y

Pada Gambar 4.11 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban tidak seimbang transformator 3 fasa terhubung Y maka ketidakseimbangan bebannya akan semakin meningkat. Hal ini terjadi dikarenakan perbedaan arus antara ketiga fasa pada beban mengalami kenaikan juga. Perbedaan arus pada ketiga beban terjadi karena terdapat beban yang tidak seimbang pada ketiga beban resistif yang terhubung pada transformator 3 fasa. Terdapat arus yang mengalir pada kabel netral pada sisi beban ketika belitan transformator 3 fasa terhubung Y-Y,  $\Delta$ -Y, Y-Zigzag Y, dan  $\Delta$ -Zigzag Y. Arus yang mengalir pada kabel netral ini dapat menghasilkan losses netral transformator.

Pada beban yang sama, ketidakseimbangan beban tertinggi diperoleh ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Y yakni sebesar 55,0%. Ketidakseimbangan beban terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung  $\Delta$ - $\Delta$  yakni sebesar 5,0%.

#### 2. Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$



Gambar 4. 12 Grafik Hubungan Beban Terhadap Ketidakseimbangan Beban Pada Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$

Pada Gambar 4.12 di atas dapat diketahui bahwa semakin naik daya beban tidak seimbang transformator 3 fasa terhubung  $\Delta$  maka ketidakseimbangan bebannya akan semakin meningkat. Hal ini terjadi dikarenakan perbedaan arus antara ketiga fasa pada beban mengalami kenaikan juga. Perbedaan arus pada ketiga beban terjadi karena terdapat beban yang tidak seimbang pada ketiga beban resistif yang terhubung pada transformator 3 fasa. Pada beban terhubung  $\Delta$  tidak terdapat titik netral sehingga tidak ada arus netral pada beban meskipun belitan pada sisi sekunder terhubung Y.

Pada beban yang sama, ketidakseimbangan beban tertinggi diperoleh ketika belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  yakni sebesar 58,0 %. Ketidakseimbangan beban terendah diperoleh ketika belitan transformator terhubung Y-Zigzag Y yakni sebesar 9,8 %.

#### 4.4. Final Analysis

1. Pada kondisi beban seimbang dihasilkan efisiensi tertinggi pada saat belitan transformator terhubung  $\Delta$ -Zigzag Y sebesar 92,8 % dan beban dalam kondisi terhubung Y. Pada belitan transformator ini memiliki performa yang paling baik dalam mensuplai listrik pada beban kondisi seimbang.
2. Pada kondisi beban tidak seimbang dihasilkan efisiensi tertinggi pada saat belitan transformator terhubung Y-Zigzag Y sebesar 93,8 % dan beban dalam kondisi terhubung  $\Delta$ . Pada belitan transformator ini memiliki performa yang paling baik dalam mensuplai listrik pada beban kondisi tidak seimbang.
3. Regulasi tegangan yang terendah pada kondisi beban seimbang dihasilkan oleh belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  sebesar 0,9% dan dalam kondisi beban terhubung Y. Hubungan belitan transformator ini dapat memberikan kualitas tegangan yang paling baik dikarenakan nilai regulasi tegangannya yang paling rendah diantara hubungan belitan lainnya.
4. Regulasi tegangan yang terendah pada kondisi beban tidak seimbang dihasilkan oleh belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  sebesar 0,9% dan dalam kondisi beban terhubung Y dan kondisi beban terhubung  $\Delta$ . Hubungan belitan transformator ini dapat memberikan kualitas tegangan yang paling baik dikarenakan nilai regulasi tegangannya yang paling rendah diantara hubungan belitan lainnya.
5. Ketidakseimbangan beban terendah dihasilkan oleh belitan transformator terhubung  $\Delta$ - $\Delta$  sebesar 5,0 % dan dalam kondisi beban terhubung Y. Hubungan belitan transformator ini dapat memberikan kualitas arus yang paling baik dikarenakan perbedaan arus ketiga fasanya yang kecil. Ketidakseimbangan beban hanya terjadi pada kondisi beban tidak seimbang dan menghasilkan arus netral jika beban dan belitan transformator pada sisi sekunder terhubung Y.

#### 4.5. Aplikasi Penggunaan Transformator 3 Fasa di Kapal

Transformator 3 fasa tentunya tidak hanya dapat digunakan di industri darat, melainkan dapat juga digunakan di industri perkapalan. Transformator digunakan pada kapal apabila tegangan dari generator tidak sama dengan tegangan yang diperlukan pada peralatan listrik. Berikut transformator 3 fasa digunakan untuk mensuplai peralatan:

1. Hubungan belitan transformator  $\Delta$ - $\Delta$  dan Y- $\Delta$  hanya bisa digunakan untuk beban 3 fasa sedangkan belitan Y-Y,  $\Delta$ -Y, Y-Zigzag Y, dan  $\Delta$ -Zigzag Y dapat digunakan untuk beban 1 fasa dan beban 3 fasa.



No.	Peralatan	Fasa	No.	Peralatan	Fasa
1.	HFO Transfer Pump	3 $\phi$	26.	HFO Separator	3 $\phi$
2.	HFO Supply Pump	1 $\phi$	27.	MDO Separator	3 $\phi$
3.	Supply Pump	1 $\phi$	28.	Oily Water Separator	3 $\phi$
4.	Booster Pump	1 $\phi$	29.	LO Separator unit	3 $\phi$
5.	MDO Supply Pump	3 $\phi$	30.	LO preheater separator	3 $\phi$
6.	LO Pump (Stand by)	3 $\phi$	31.	Air Compressor	3 $\phi$
7.	SW Cooling Pump	3 $\phi$	32.	Pre-heater	3 $\phi$
8.	LT standby pump	3 $\phi$	33.	Final Heater HFO	3 $\phi$
9.	HT standby pump	3 $\phi$	34.	FW Hydrophore Set	3 $\phi$
10.	Oily Bilge Pump	1 $\phi$	35.	SW Hydrophore Set	3 $\phi$
11.	Ballast-Bilge pump(GS)	3 $\phi$	36.	HFO Storage Tank Heater	3 $\phi$
12.	Ballast Pump	3 $\phi$	37.	HFO Settling Tank Heater	3 $\phi$
13.	Bilga Pump	3 $\phi$	38.	HFO Service Tank Heater	3 $\phi$
14.	Fire pump	3 $\phi$	39.	HFO Preheater	3 $\phi$
15.	Emergency Fire Pump		40.	MDO Preheater	3 $\phi$
16.	Cargo crane	3 $\phi$	41.	Sewage Treatment Plant	1 $\phi$
17.	Provision Crane	3 $\phi$	42.	E/R Exhaust Fan	3 $\phi$
18.	Capstan	3 $\phi$	43.	Main Deck Exhaust Fan	1 $\phi$
19.	Windlass	3 $\phi$	44.	Poop Deck Exhaust Fan	1 $\phi$
20.	Steering Gear	3 $\phi$	45.	Boat Deck Exhaust Fan	1 $\phi$
21.	E/R Supply Fan	3 $\phi$	46.	Bridge Deck Exhaust Fan	1 $\phi$
22.	Main Deck Supply Fan	1 $\phi$	47.	Nav. Deck Exhaust Fan	1 $\phi$
23.	Poop Deck Supply Fan	1 $\phi$	48.	Central AC System	3 $\phi$
24.	Boat Deck Supply Fan	1 $\phi$	49.	Battery Charger	1 $\phi$
25.	Bridge Deck Supply Fan	1 $\phi$	50.	Nav. Deck Supply Fan	1 $\phi$

2. Hubungan belitan transformator Y-Y,  $\Delta$ -Y, Y-Zigzag Y, dan  $\Delta$ -Zigzag Y dapat digunakan pada peralatan navigasi dan sistem penerangan di kapal.

No.	Peralatan	Fasa	No.	Peralatan	Fasa
1.	VHF radio	1 $\phi$	15.	Echo Sounding	1 $\phi$
2.	MF/Hf radio	1 $\phi$	16.	GPS	1 $\phi$
3.	Inmarsat fleet	1 $\phi$	17.	Magnetik Compass	1 $\phi$
4.	Navtex receiver	1 $\phi$	18.	Gyro Compass	1 $\phi$
5.	Inmarsat C	1 $\phi$	19.	Propulsion telegraph	1 $\phi$
6.	Chart Radar (AC)	1 $\phi$	20.	Horn	1 $\phi$

7.	Chart Display	1φ	21.	VDR	1φ
8.	Arpa Radar	1φ	22.	MastHead Light 225°	1φ
9.	ECDIS	1φ	23.	Side Light green 112,5°	1φ
10.	BNWAS	1φ	24.	Side Light red 112,5°	1φ
11.	AIS receiver	1φ	25.	Stern Light 135°	1φ
12.	Colour Plotter	1φ	26.	Anchor Light 360°	1φ
13.	Weather Faximile	1φ	27.	Towing light 135°	1φ
14.	Sonar Speed	1φ	28.	Lampu-lampu penerangan	1φ

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah melakukan pengujian transformator 3 fasa Feedback 61-103 pada berbagai hubungan belitan dalam kondisi beban seimbang dan beban tidak seimbang yang terdapat di Laboratorium Listrik Kapal dan Otomatisasi Teknik Sistem Perkapalan ITS, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Efisiensi transformator tertinggi dalam kondisi beban seimbang yakni hubungan belitan  $\Delta$ -Zigzag Y sebesar 92,8% ketika beban terhubung Y. Untuk efisiensi transformator tertinggi dalam kondisi beban tidak seimbang yakni hubungan belitan Y-Zigzag Y sebesar 93,8 % ketika beban terhubung  $\Delta$ .
2. Penyuplai tegangan terbaik pada transformator yaitu transformator yang memiliki nilai regulasi tegangan yang paling rendah dan memenuhi standar IEC dimana batas maksimum regulasi tegangan sebesar 5%. Pada kondisi beban seimbang penyuplai tegangan terbaik yakni belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  dengan besar regulasi tegangan yaitu 0,9% ketika beban terhubung  $\Delta$ . Untuk penyuplai tegangan terbaik dalam kondisi beban tidak seimbang yakni belitan transformator terhubung Y- $\Delta$  dengan besar regulasi tegangan yaitu 0,9 % ketika beban terhubung Y dan beban terhubung  $\Delta$ .
3. Transformator dalam kondisi tidak seimbang yang menghasilkan kualitas arus yang paling baik yaitu transformator dengan hubungan belitan  $\Delta$ - $\Delta$  karena memiliki nilai ketidakseimbangan yang paling kecil dengan besar hanya 5% ketika beban terhubung Y.
4. Batas maksimum beban total yang diberikan pada kondisi beban seimbang agar tidak terjadi overheating yakni tidak kurang dari 1161  $\Omega$  pada belitan  $\Delta$ -Zigzag Y dan Y-Zigzag Y dan beban terhubung  $\Delta$ . Batas maksimum beban total yang diberikan pada kondisi beban tidak seimbang agar tidak terjadi overheating yakni tidak kurang dari 1774  $\Omega$  pada belitan  $\Delta$ -Zigzag Y dan tidak kurang dari 1460  $\Omega$  Y-Zigzag Y dan beban terhubung  $\Delta$ . Hal ini terjadi karena arus yang dihasilkan melebihi 2A per fasa.

#### **5.2. Saran**

1. Perlu dicari solusi agar regulasi tegangan tidak melebihi batas maksimum yang di izinkan oleh Standard IEC 60076.
2. Diharapkan hasil pengujian transformator 3 fasa ini dapat digunakan untuk memilih belitan transformator yang cocok untuk kebutuhan transformator pada peralatan dikapal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. Dhuha, Z. F., 2015. Analisa Berbagai Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa dalam Keadaan Beban Lebih (Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT.. Medan: Universitas Sumatera Utara.
2. Indrakoesoema, K., 2012. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Kering BHT02 RSG GA SIWABESSY Terhadap Arus Netral dan Rugi-rugi. Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan.
3. Nainggolan, E., 2010. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi (Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Cabang Medan, Rayon Medan Kota). Medan: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU).
4. Simamora, Y., 2014. Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rugi-Rugi pada Jaringan Tegangan Rendah. Medan: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU).
5. Theraja, 1978. A Text-book of Electrical Technology, 17th. 17th Revised penyunt. New Delhi: Chand & Company Ltd.
6. Wijaya, M., 2001. Dasar- Dasar Mesin Listrik. Jakarta: Djambatan.
7. Zuhail, 1982. Dasar Tenaga Listrik. Bandung: ITB.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN

### 1. Percobaan Tanpa Beban

#### 1.1. Data Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )		Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )		Rasio
$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	
(V)	(V)	(V)	(V)	k
398	398	118	118	3,4

#### 1.2. Data Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y-Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Primer Terhubung Star (Y)		Sekunder Tehubung Star (Y)		Rasio
$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	
(V)	(V)	(V)	(V)	k
226	396	117	203	2,0

#### 1.3. Data Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan $\Delta$ -Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )		Sekunder Tehubung Star (Y)		Rasio
$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	
(V)	(V)	(V)	(V)	k
390	390	114	199	2,0

#### 1.4. Data Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y- $\Delta$

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Primer Terhubung Star (Y)		Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )		Rasio
$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	
(V)	(V)	(V)	(V)	k
227	394	117	117	3,4

#### 1.5. Data Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Primer Terhubung Star (Y)		Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)		Rasio
$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$V_{Line}$	
(V)	(V)	(V)	(V)	k
229	397	201	349	1,1

### 1.6. Data Percobaan Tanpa Beban Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )		Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)		Rasio  k
V <sub>Fasa</sub> (V)	V <sub>Line</sub> (V)	V <sub>Fasa</sub> (V)	V <sub>Line</sub> (V)	
394	394	202	350	

## 2. Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y

### 2.1. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
R <sub>1</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>2</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>3</sub> ( $\Omega$ )	V <sub>Line</sub> (V)	I <sub>L1</sub> (A)	I <sub>L2</sub> (A)	I <sub>L3</sub> (A)	I <sub>1</sub> (A)	I <sub>2</sub> (A)	I <sub>3</sub> (A)	Cos $\Phi$	P (W)
122	122	122	384	0,28	0,28	0,28	0,15	0,15	0,15	0,72	134
230	230	230	384	0,23	0,23	0,23	0,11	0,11	0,11	0,55	84,1
387	387	387	384	0,21	0,21	0,21	0,11	0,11	0,11	0,45	62,9
584	584	584	385	0,21	0,21	0,21	0,10	0,10	0,10	0,37	51,8
796	796	796	385	0,21	0,21	0,21	0,10	0,10	0,10	0,34	47,6

Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )						Load Tehubung Star (Y)			Rasio  k
V <sub>Line</sub> (V)	I <sub>4</sub> (A)	I <sub>5</sub> (A)	I <sub>6</sub> (A)	Cos $\Phi$	P (W)	I <sub>1</sub> (A)	I <sub>2</sub> (A)	I <sub>3</sub> (A)	
112	0,28	0,28	0,28	1	103	0,53	0,53	0,53	3,4
113	0,14	0,14	0,14	1	54,8	0,28	0,28	0,28	3,4
114	0,08	0,08	0,08	1	33,6	0,17	0,17	0,17	3,4
114	0,05	0,05	0,05	1	21,7	0,11	0,11	0,11	3,4
114	0,03	0,03	0,03	1	15,8	0,08	0,08	0,08	3,4

### 2.2. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
R <sub>1</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>2</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>3</sub> ( $\Omega$ )	V <sub>Line</sub> (V)	V <sub>Fasa</sub> (V)	I <sub>L1</sub> (A)	I <sub>L2</sub> (A)	I <sub>L3</sub> (A)	Cos $\Phi$	P (W)
122	122	122	393	223	0,56	0,56	0,56	0,94	355
230	230	230	393	223	0,37	0,37	0,37	0,82	203
387	387	387	393	223	0,29	0,29	0,29	0,70	137
584	584	584	393	223	0,26	0,26	0,26	0,59	102
796	796	796	394	224	0,25	0,25	0,25	0,51	84,5



Sekunder Tehubung Star (Y)				Load Tehubung Star (Y)				Rasio
$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$Cos$	$P$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_N$	$k$
(V)	(V)	$\Phi$	(W)	(A)	(A)	(A)	(A)	
197	113	1	317	0,93	0,93	0,93	0	2,0
198	114	1	167	0,49	0,49	0,49	0	2,0
199	115	1	104	0,30	0,30	0,30	0	2,0
200	115	1	67,5	0,20	0,20	0,20	0	2,0
201	116	1	50,1	0,14	0,14	0,14	0	2,0

### 2.3. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$Cos$	$P$
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)
122	122	122	386	0,54	0,54	0,54	0,28	0,28	0,28	0,94	339
230	230	230	386	0,36	0,36	0,36	0,18	0,18	0,18	0,82	195
387	387	387	386	0,28	0,28	0,28	0,14	0,14	0,14	0,71	133
584	584	584	386	0,24	0,24	0,24	0,13	0,13	0,13	0,59	95,6
796	796	796	386	0,23	0,23	0,23	0,12	0,12	0,12	0,51	78,7

Sekunder Tehubung Star (Y)				Load Tehubung Star (Y)				Rasio
$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$Cos$	$P$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_N$	$k$
(V)	(V)	$\Phi$	(W)	(A)	(A)	(A)	(A)	
193	110	1	304	0,91	0,91	0,91	0	2,0
195	111	1	162	0,48	0,48	0,48	0	2,0
196	112	1	102	0,30	0,30	0,30	0	2,0
196	112	1	65,3	0,19	0,19	0,19	0	2,0
197	113	1	48,1	0,14	0,14	0,14	0	2,0

### 2.4. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$Cos$	$P$
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)
122	122	122	389	222	0,29	0,29	0,29	0,71	140
230	230	230	390	223	0,25	0,25	0,25	0,54	90,5
387	387	387	390	223	0,23	0,23	0,23	0,44	68,4
584	584	584	390	223	0,22	0,22	0,22	0,38	57,2
796	796	796	390	223	0,22	0,22	0,22	0,35	52,0

Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )					Load Tehubung Star (Y)				Rasio
$V_{Line}$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$Cos$	$P$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$k$
(V)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)	(A)	(A)	(A)	

114	0,30	0,30	0,30	1	105	0,53	0,53	0,53	3,4
115	0,17	0,17	0,17	1	56,2	0,28	0,28	0,28	3,4
115	0,11	0,11	0,11	1	34,5	0,17	0,17	0,17	3,4
116	0,08	0,08	0,08	1	22,5	0,11	0,11	0,11	3,4
116	0,07	0,07	0,07	1	16,5	0,08	0,08	0,08	3,4

2.5. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y  
Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos	P
(Ω)	(Ω)	(Ω)	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	Φ	(W)
122	122	122	382	217	1,42	1,42	1,42	0,99	930
230	230	230	382	217	0,79	0,79	0,79	0,97	510
387	387	387	383	218	0,53	0,53	0,53	0,94	329
584	584	584	383	218	0,39	0,39	0,39	0,87	223
796	796	796	383	218	0,32	0,32	0,32	0,81	173

Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)				Load Tehubung Star (Y)				Rasio
V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	Cos	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>N</sub>	k
(V)	(V)	Φ	(W)	(A)	(A)	(A)	(A)	
320	185	1	839	1,51	1,51	1,51	0	1,2
329	190	1	466	0,82	0,82	0,82	0	1,2
334	193	1	293	0,51	0,51	0,51	0	1,1
336	194	1	192	0,33	0,33	0,33	0	1,1
338	195	1	142	0,24	0,24	0,24	0	1,1

2.6. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Δ-Zigzag Y  
Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta (Δ)								
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	V <sub>Line</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	Cos	P
(Ω)	(Ω)	(Ω)	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	Φ	(W)
122	122	122	382	1,40	1,40	1,40	0,75	0,75	0,75	0,99	917
230	230	230	382	0,77	0,77	0,77	0,41	0,41	0,41	0,98	499
387	387	387	382	0,52	0,52	0,52	0,28	0,28	0,28	0,94	326
584	584	584	383	0,39	0,39	0,39	0,19	0,19	0,19	0,91	223
796	796	796	383	0,32	0,32	0,32	0,17	0,17	0,17	0,81	172

Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)				Load Tehubung Star (Y)				Rasio
V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	Cos	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>N</sub>	k
(V)	(V)	Φ	(W)	(A)	(A)	(A)	(A)	
320	185	1	831	1,50	1,50	1,50	0	1,2
328	190	1	463	0,82	0,82	0,82	0	1,2
333	192	1	291	0,51	0,51	0,51	0	1,1

335	193	1	192	0,33	0,33	0,33	0	1,1
336	194	1	142	0,24	0,24	0,24	0	1,1

### 3. Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$

#### 3.1. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>V<sub>Line</sub></b>	<b>I<sub>L1</sub></b>	<b>I<sub>L2</sub></b>	<b>I<sub>L3</sub></b>	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>3</sub></b>	<b>Cos</b>	<b>P</b>
<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b>(W)</b>
122	122	122	380	0,53	0,53	0,53	0,27	0,27	0,27	0,95	331
230	230	230	380	0,34	0,34	0,34	0,18	0,18	0,18	0,83	190
387	387	387	380	0,27	0,27	0,27	0,13	0,13	0,13	0,72	129
584	584	584	380	0,23	0,23	0,23	0,12	0,12	0,12	0,61	92,3
796	796	796	380	0,22	0,22	0,22	0,11	0,11	0,11	0,54	78,2

Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )									Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio
V <sub>Line</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	k
(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)	(A)	(A)	(A)	
109	0,84	0,84	0,84	1,54	1,54	1,54	1	291	0,85	0,85	0,85	3,5
111	0,44	0,44	0,44	0,82	0,82	0,82	1	158	0,44	0,44	0,44	3,4
111	0,27	0,27	0,27	0,51	0,51	0,51	1	98,0	0,26	0,26	0,26	3,4
112	0,17	0,17	0,17	0,33	0,33	0,33	1	64,0	0,16	0,16	0,16	3,4
112	0,12	0,12	0,12	0,24	0,24	0,24	1	46,6	0,12	0,12	0,12	3,4

#### 3.2. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y-Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos	P
(Ω)	(Ω)	(Ω)	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	Φ	(W)
122	122	122	390	222	1,42	1,42	1,42	0,99	950
230	230	230	390	222	0,82	0,82	0,82	0,97	534
387	387	387	390	222	0,54	0,54	0,54	0,93	339
584	584	584	390	222	0,41	0,41	0,41	0,85	231
796	796	796	390	222	0,34	0,34	0,34	0,78	179

Sekunder Tehubung Star (Y)							Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio
<b>V<sub>Line</sub></b>	<b>V<sub>Fasa</sub></b>	<b>I<sub>L1</sub></b>	<b>I<sub>L2</sub></b>	<b>I<sub>L3</sub></b>	<b>Cos</b>	<b>P</b>	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>3</sub></b>	<b>k</b>
<b>(V)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b>(W)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	
188	107	2,64	2,64	2,64	1	860	1,48	1,48	1,48	2,1
194	110	1,45	1,45	1,45	1	487	0,78	0,78	0,78	2,0
195	111	0,89	0,89	0,89	1	301	0,48	0,48	0,48	2,0
197	112	0,58	0,58	0,58	1	199	0,30	0,30	0,30	2,0
198	112	0,43	0,43	0,43	1	147	0,22	0,22	0,22	2,0

### 3.3. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>V<sub>Line</sub></b>	<b>I<sub>L1</sub></b>	<b>I<sub>L2</sub></b>	<b>I<sub>L3</sub></b>	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>3</sub></b>	<b>Cos</b>	<b>P</b>
<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b>(W)</b>
122	122	122	387	1,40	1,40	1,40	0,74	0,74	0,74	0,99	929
230	230	230	388	0,79	0,79	0,79	0,41	0,41	0,41	0,97	517
387	387	387	388	0,53	0,53	0,53	0,27	0,27	0,27	0,94	335
584	584	584	388	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,20	0,85	228
796	796	796	388	0,33	0,33	0,33	0,17	0,17	0,17	0,79	176

Sekunder Tehubung Star (Y)							Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio
<b>V<sub>Line</sub></b>	<b>V<sub>Fasa</sub></b>	<b>I<sub>L1</sub></b>	<b>I<sub>L2</sub></b>	<b>I<sub>L3</sub></b>	<b>Cos</b>	<b>P</b>	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>3</sub></b>	<b>k</b>
<b>(V)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b>(W)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	
185	106	2,60	2,60	2,60	1	833	1,46	1,46	1,46	2,1
191	109	1,41	1,41	1,41	1	466	0,77	0,77	0,77	2,0
194	111	0,88	0,88	0,88	1	297	0,48	0,48	0,48	2,0
196	112	0,58	0,58	0,58	1	196	0,30	0,30	0,30	2,0
196	112	0,43	0,43	0,43	1	144	0,22	0,22	0,22	2,0

### 3.4. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan Y- $\Delta$

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>V<sub>Line</sub></b>	<b>V<sub>Fasa</sub></b>	<b>I<sub>L1</sub></b>	<b>I<sub>L2</sub></b>	<b>I<sub>L3</sub></b>	<b>Cos</b>	<b>P</b>
<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(V)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b>(W)</b>
122	122	122	391	226	0,57	0,57	0,57	0,90	348
230	230	230	392	226	0,39	0,39	0,39	0,75	208
387	387	387	392	226	0,33	0,33	0,33	0,61	137

Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )									Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio
V <sub>Line</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	k
(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)	(A)	(A)	(A)	
113	0,92	0,92	0,92	1,58	1,58	1,58	1	310	0,87	0,87	0,87	3,5
115	0,53	0,53	0,53	0,86	0,86	0,86	1	171	0,45	0,45	0,45	3,4
115	0,35	0,35	0,35	0,52	0,52	0,52	1	105	0,27	0,27	0,27	3,4

3.5. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Zigzag Y  
Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>V<sub>Line</sub></b>	<b>V<sub>Fasa</sub></b>	<b>I<sub>L1</sub></b>	<b>I<sub>L2</sub></b>	<b>I<sub>L3</sub></b>	<b>Cos</b>	<b>P</b>
<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(<math>\Omega</math>)</b>	<b>(V)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b>(W)</b>
122	122	122	Overheating						
230	230	230	Overheating						
387	387	387	381	216	1,36	1,36	1,36	0,99	887
584	584	584	382	217	0,92	0,92	0,92	0,98	597
796	796	796	382	217	0,71	0,71	0,71	0,97	453

Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)							Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio
<b>V<sub>Line</sub></b>	<b>V<sub>Fasa</sub></b>	<b>I<sub>L1</sub></b>	<b>I<sub>L2</sub></b>	<b>I<sub>L3</sub></b>	<b>Cos</b>	<b>P</b>	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>3</sub></b>	<b>k</b>
<b>(V)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b>(W)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	
Overheating										
Overheating										
322	182	1,45	1,45	1,45	1	808	0,80	0,80	0,80	1,2
327	186	0,97	0,97	0,97	1	549	0,53	0,53	0,53	1,2
330	188	0,72	0,72	0,72	1	410	0,38	0,38	0,38	1,2

3.6. Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Zigzag Y  
Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$\cos$	$P$
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)
122	122	122	Overheating								
230	230	230	Overheating								
387	387	387	381	1,35	1,35	1,35	0,71	0,71	0,71	0,99	882
584	584	584	381	0,92	0,92	0,92	0,48	0,48	0,48	0,98	594
796	796	796	382	0,70	0,70	0,70	0,37	0,37	0,37	0,97	451

Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)							Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio
<b>V<sub>Line</sub></b>	<b>V<sub>Fasa</sub></b>	<b>I<sub>L1</sub></b>	<b>I<sub>L2</sub></b>	<b>I<sub>L3</sub></b>	<b>Cos</b>	<b>P</b>	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>3</sub></b>	<b>k</b>
<b>(V)</b>	<b>(V)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b><math>\Phi</math></b>	<b>(W)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	<b>(A)</b>	
Overheating										
Overheating										
320	183	1,46	1,46	1,46	1	809	0,80	0,80	0,80	1,2
327	186	0,97	0,97	0,97	1	548	0,52	0,52	0,52	1,2
330	188	0,72	0,72	0,72	1	410	0,39	0,39	0,39	1,2

#### 4. Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y

##### 4.1. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$\cos \Phi$	P
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)		(W)
122	122	1000	388	0,26	0,28	0,19	0,15	0,10	0,10	0,56	92,1
230	230	1000	388	0,25	0,23	0,19	0,12	0,08	0,11	0,45	67,7
387	387	1000	388	0,25	0,21	0,20	0,12	0,07	0,11	0,38	55,6
584	584	1000	389	0,25	0,20	0,19	0,11	0,07	0,11	0,35	50,5
796	796	1000	389	0,25	0,20	0,19	0,11	0,07	0,11	0,34	49,0

Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )						Load Tehubung Star (Y)			Rasio
$V_{Line}$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$\cos \Phi$	P	$I_1$	$I_2$	$I_3$	k
(V)	(A)	(A)	(A)		(W)	(A)	(A)	(A)	
114	0,27	0,12	0,12	1	61,1	0,46	0,46	0,09	3,4
115	0,15	0,07	0,07	1	38,4	0,25	0,25	0,09	3,4
115	0,08	0,05	0,05	1	25,9	0,15	0,15	0,08	3,4
115	0,05	0,04	0,04	1	18,8	0,10	0,10	0,08	3,4
115	0,04	0,03	0,03	1	15,1	0,08	0,08	0,07	3,4

##### 4.2. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos	P
(Ω)	(Ω)	(Ω)	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	Φ	(W)
122	122	1000	393	223	0,44	0,53	0,36	0,89	261
230	230	1000	394	224	0,30	0,34	0,31	0,74	163
387	387	1000	395	225	0,27	0,27	0,29	0,63	120

Sekunder Tehubung Star (Y)				Load Tehubung Star (Y)				Rasio
$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$\cos \Phi$	P	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_N$	k
(V)	(V)		(W)	(A)	(A)	(A)	(A)	
199	114	1	224	0,92	0,92	0,12	0,80	2,0
201	116	1	128	0,49	0,49	0,12	0,36	2,0
201	116	1	84,0	0,30	0,30	0,12	0,17	2,0

##### 4.3. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$Cos \Phi$	P
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)		(W)
122	122	1000	385	0,34	0,50	0,43	0,27	0,24	0,15	0,9	250
230	230	1000	386	0,27	0,31	0,31	0,18	0,14	0,14	0,75	152
387	387	1000	386	0,26	0,24	0,26	0,14	0,11	0,12	0,64	110
584	584	1000	387	0,27	0,22	0,24	0,13	0,09	0,12	0,54	86,7
796	796	1000	387	0,26	0,21	0,22	0,13	0,08	0,12	0,49	75,6

Sekunder Tehubung Star (Y)				Load Tehubung Star (Y)				Rasio
$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$Cos \Phi$	P	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_N$	k
(V)	(V)		(W)	(A)	(A)	(A)	(A)	
195	110	1	214	0,91	0,91	0,11	0,75	2,0
196	111	1	121	0,48	0,48	0,11	0,34	2,0
197	112	1	79,9	0,30	0,30	0,11	0,17	2,0
197	112	1	56,7	0,19	0,19	0,11	0,06	2,0
197	112	1	45,1	0,14	0,14	0,11	0,02	2,0

4.4. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y- $\Delta$   
Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$Cos \Phi$	P
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)		(W)
122	122	1000	386	222	0,40	0,33	0,19	0,45	89,0
230	230	1000	388	223	0,37	0,26	0,20	0,37	66,2
387	387	1000	390	224	0,36	0,26	0,20	0,31	54,2
584	584	1000	391	225	0,35	0,25	0,22	0,28	50,7
796	796	1000	394	225	0,36	0,24	0,22	0,25	48,5

Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )						Load Tehubung Star (Y)			Rasio
$V_{Line}$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$Cos \Phi$	P	$I_1$	$I_2$	$I_3$	k
(V)	(A)	(A)	(A)		(W)	(A)	(A)	(A)	
114	0,40	0,40	0,24	1	62,0	0,47	0,47	0,09	3,4
115	0,26	0,26	0,22	1	36,5	0,25	0,25	0,09	3,4
115	0,23	0,23	0,22	1	25,5	0,16	0,16	0,08	3,4
116	0,23	0,23	0,22	1	18,7	0,10	0,10	0,08	3,4
116	0,23	0,23	0,22	1	15,2	0,08	0,08	0,07	3,4

4.5. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$		P

( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	Cos $\Phi$	(W)
122	122	1000	383	221	0,79	1,36	1,07	0,98	698
230	230	1000	383	221	0,49	0,71	0,71	0,96	405
387	387	1000	383	221	0,37	0,48	0,56	0,87	271
584	584	1000	384	222	0,36	0,33	0,42	0,81	197
796	796	1000	384	222	0,35	0,26	0,38	0,75	164

Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)				Load Tehubung Star (Y)				Rasio
V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	Cos $\Phi$	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>N</sub>	k
(V)	(V)		(W)	(A)	(A)	(A)	(A)	
327	186	1	615	1,53	1,53	0,20	1,30	1,2
333	190	1	354	0,82	0,82	0,20	0,58	1,2
336	192	1	233	0,50	0,50	0,20	0,28	1,1
338	194	1	167	0,33	0,33	0,20	0,11	1,1
338	194	1	134	0,24	0,24	0,20	0,03	1,1

#### 4.6. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	V <sub>Line</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	Cos $\Phi$	P
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)		(W)
122	122	1000	382	0,66	1,17	1,32	0,40	0,74	0,53	0,98	681
230	230	1000	383	0,47	0,64	0,77	0,24	0,41	0,33	0,96	398
387	387	1000	383	0,39	0,42	0,53	0,19	0,26	0,25	0,9	266
584	584	1000	383	0,35	0,32	0,39	0,16	0,18	0,20	0,85	197
796	796	1000	383	0,33	0,27	0,33	0,16	0,14	0,17	0,79	161

Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)				Load Tehubung Star (Y)				Rasio
V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	Cos $\Phi$	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>N</sub>	k
(V)	(V)		(W)	(A)	(A)	(A)	(A)	
326	188	1	608	1,52	1,52	0,19	1,26	1,2
332	191	1	351	0,82	0,82	0,19	0,58	1,2
335	193	1	234	0,51	0,51	0,19	0,28	1,1
336	194	1	165	0,33	0,33	0,19	0,12	1,1
337	195	1	130	0,24	0,24	0,19	0,04	1,1

## 5. Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$

### 5.1. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ - $\Delta$

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	V <sub>Line</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>		P



(Ω)	(Ω)	(Ω)	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	cos Φ	(W)
122	122	1000	378	0,33	0,49	0,41	0,21	0,26	0,16	0,91	238
230	230	1000	381	0,26	0,30	0,29	0,16	0,16	0,13	0,77	148
387	387	1000	382	0,26	0,24	0,26	0,15	0,15	0,13	0,65	110
584	584	1000	382	0,26	0,21	0,23	0,13	0,10	0,12	0,57	85,5
796	796	1000	382	0,25	0,20	0,21	0,13	0,09	0,12	0,52	73,9

Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )									Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio
$V_{Line}$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$\cos \Phi$	P	$I_1$	$I_2$	$I_3$	k
(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)	(A)	(A)	(A)	
110	0,75	0,75	0,34	0,95	1,53	0,95	1	205	0,85	0,85	0,08	3,4
111	0,40	0,40	0,21	0,54	0,82	0,54	1	116	0,44	0,44	0,08	3,4
112	0,25	0,25	0,16	0,37	0,51	0,37	1	79,2	0,27	0,27	0,08	3,4
113	0,16	0,16	0,13	0,27	0,33	0,27	1	55,2	0,17	0,17	0,08	3,4
113	0,12	0,12	0,10	0,22	0,24	0,22	1	44,1	0,12	0,12	0,08	3,4

5.2. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Y  
Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)							
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$\cos \Phi$	P	
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)	
122	122	1000	389	221	0,80	1,38	1,02	0,98	704	
230	230	1000	389	221	0,48	0,78	0,66	0,95	409	
387	387	1000	389	221	0,37	0,51	0,50	0,91	282	
584	584	1000	389	221	0,32	0,37	0,41	0,82	202	
796	796	1000	389	221	0,31	0,30	0,36	0,77	168	

Sekunder Tehubung Star (Y)						Load Tehubung Delta (Δ)				Rasio
V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos Φ	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	k
(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	Φ	(W)	(A)	(A)	(A)	
190	107	1,64	2,61	1,64	1	646	1,47	1,47	0,16	2,0
194	111	0,94	1,42	0,94	1	370	0,78	0,78	0,16	2,0
196	112	0,64	0,89	0,64	1	245	0,48	0,48	0,16	2,0
197	113	0,47	0,58	0,47	1	173	0,30	0,30	0,16	2,0
198	113	0,39	0,43	0,39	1	138	0,22	0,22	0,16	2,0

5.3. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan  $\Delta$ -Y  
Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 2,0.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$\cos \Phi$	P
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)
122	122	1000	389	0,68	1,17	1,33	0,40	0,74	0,54	0,98	700

230	230	1000	390	0,49	0,64	0,78	0,23	0,40	0,34	0,96	414
387	387	1000	390	0,41	0,43	0,54	0,19	0,24	0,25	0,89	276
584	584	1000	390	0,36	0,32	0,40	0,17	0,18	0,20	0,83	203
796	796	1000	390	0,34	0,28	0,34	0,16	0,14	0,18	0,77	165

Sekunder Tehubung Star (Y)							Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio
V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos $\Phi$	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	k
(V)	(V)	(A)	(A)	(A)		(W)	(A)	(A)	(A)	
189	110	1,64	2,61	1,64	1	643	1,46	1,46	0,16	2,1
194	112	0,95	1,43	0,95	1	373	0,76	0,76	0,16	2,0
195	112	0,63	0,89	0,63	1	242	0,47	0,47	0,16	2,0
196	113	0,47	0,58	0,47	1	171	0,30	0,30	0,16	2,0
196	113	0,38	0,43	0,38	1	135	0,21	0,21	0,16	2,0

5.4. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y- $\Delta$   
Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 3,4.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos $\Phi$	P
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)		(W)
122	122	1000	392	226	0,39	0,61	0,35	0,85	258
230	230	1000	392	226	0,30	0,43	0,28	0,70	158
387	387	1000	392	226	0,27	0,40	0,26	0,58	114
584	584	1000	392	226	0,29	0,30	0,25	0,49	90,7
796	796	1000	392	226	0,32	0,32	0,21	0,44	79,7

Sekunder Tehubung Delta ( $\Delta$ )								Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )			Rasio	
V <sub>Line</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos $\Phi$	P	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	k
(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)		(W)	(A)	(A)	(A)	
114	0,74	0,90	0,38	0,99	1,58	0,99	1	221	0,88	0,88	0,08	3,4
115	0,40	0,57	0,25	0,56	0,85	0,56	1	125	0,45	0,45	0,08	3,4
116	0,26	0,42	0,22	0,37	0,52	0,37	1	82,7	0,27	0,27	0,08	3,4
116	0,24	0,36	0,19	0,28	0,34	0,28	1	58,7	0,17	0,17	0,09	3,4
116	0,22	0,31	0,19	0,23	0,25	0,23	1	46,7	0,12	0,12	0,09	3,4

5.5. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung  $\Delta$  Hubungan Belitan Y-Zigzag Y

Rasio Transformator (k) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Resistance Load			Primer Terhubung Star (Y)						
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	V <sub>Line</sub>	V <sub>Fasa</sub>	I <sub>L1</sub>	I <sub>L2</sub>	I <sub>L3</sub>	Cos $\Phi$	P
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(V)	(A)	(A)	(A)		(W)
122	122	1000	overheating						
230	230	1000	392	226	1,13	1,84	2,11	0,99	1130
387	387	1000	392	226	0,87	1,18	1,45	0,98	760

584	584	1000	392	226	0,71	0,79	1,06	0,96	550
796	796	1000	392	226	0,64	0,62	0,84	0,95	452

Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)						Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )				Rasio
$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$Cos \Phi$	$P$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$k$
(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)	(A)	(A)	(A)	
overheating										
327	190	1,58	2,37	1,59	1	1040	1,33	1,33	0,31	1,2
334	193	1,09	1,51	1,10	1	713	0,82	0,82	0,31	1,2
339	195	0,81	1,00	0,81	1	510	0,53	0,53	0,31	1,2
341	196	0,67	0,74	0,67	1	411	0,39	0,39	0,31	1,1


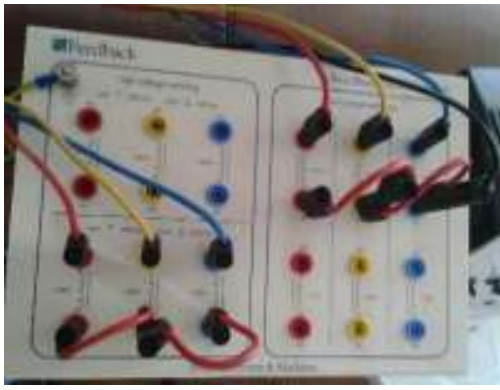




## 5.6. Data Percobaan Beban Tidak Seimbang Terhubung $\Delta$ Hubungan Belitan $\Delta$ -Zigzag Y

Rasio Transformator ( $k$ ) dari hasil pengujian Feedack Instruments Ltd yang tertera di Three Phase Transformer Trainer 61-002 sebesar 1,1.

Resistance Load			Primer Terhubung Delta ( $\Delta$ )								
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{Line}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$Cos \Phi$	$P$
( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	( $\Omega$ )	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)
122	122	1000	overheating								
230	230	1000	overheating								
387	387	1000	382	1,07	0,92	1,40	0,43	0,64	0,70	0,99	740
584	584	1000	383	0,81	0,70	0,95	0,35	0,43	0,48	0,98	534
796	796	1000	384	0,69	0,60	0,73	0,31	0,32	0,38	0,96	428

Sekunder Tehubung Zigzag Star (Y)						Load Tehubung Delta ( $\Delta$ )				Rasio
$V_{Line}$	$V_{Fasa}$	$I_{L1}$	$I_{L2}$	$I_{L3}$	$Cos \Phi$	$P$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$k$
(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	$\Phi$	(W)	(A)	(A)	(A)	
overheating										
overheating										
325	186	1,07	1,48	1,07	1	679	0,79	0,79	0,30	1,2
330	190	0,79	0,98	0,79	1	487	0,53	0,53	0,30	1,2
332	191	0,65	0,73	0,65	1	388	0,38	0,38	0,30	1,2

6. Dokumentasi Pengambilan Data Percobaan Beban Seimbang Terhubung Y Hubungan Belitan Y-Y

	
<p>Foto Panel Trafo 3 Fasa</p>	<p>Foto Trafo 3 Fasa</p>
	
<p>Foto Data Sisi Primer</p>	<p>Foto Data Sisi Sekunder</p>
	
<p>Foto Tegangan Fasa Sisi Primer</p>	<p>Foto Tegangan Fasa Sisi Sekunder</p>

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Hanif. Lahir di Banyuwangi, 29 Mei 1995. Seorang anak dari pasangan Bapak Nasuki (alm) dan Ibu Muljanah dan anak ketiga dari tiga bersaudara. Kakak pertama bernama Hamid dan yang kedua bernama Muhammad Nasir. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI. Darul Latief Ar- Rosyid pada tahun 2001 s.d 2007, kemudian melanjutkan sekolah di SMP Negeri 1 Kabat pada tahun 2007 s.d 2010, setelah lulus dari SMP kemudian melanjutkan sekolah di SMA Negeri 1 Glagah pada tahun 2010 s.d 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan Strata 1 (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama dalam perkuliahan penulis aktif mengikuti Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan pada tahun 2014 s.d 2015 dan 2015 s.d 2016 di Departemen Keprofesian dan Kesejahteraan Mahasiswa. Selain itu pada tahun 2014 dan 2015 penulis juga menjadi panitia lomba pada kegiatan Marine Icon di Teknik Sistem Perkapalan. Pada tahun keempat, penulis mengikuti kegiatan di Laboratorium Marine Electrical and Automation System (MEAS) dan menjadi Koordinator Praktikum Listrik Perkapalan pada Semester Genap 2016/2017. Untuk menyelesaikan pendidikan S1 ini penulis mengambil skripsi di bidang Marine Electrical and Automation System (MEAS). Tujuan penulis mengerjakan skripsi di bidang tersebut yakni ingin mengetahui performa transformator 3 fasa yang digunakan sebagai inovasi untuk mendesain kebutuhan penyaluran listrik di kapal.